НАУКА МАССАМ



ОНТИ · ГТТИ · 1934

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА ПО ФИЗИКЕ

Л. А. ТУМЕРМАН

ФОТОЭЛЕМЕНТ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ



ОНТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1934 ЛЕНИНГРАД

Т 45-64

4-я тип ОНТИ НКТП СССР „Красный Печатник". Ленинград, Международный пр., 75а.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Не прошло еще и четверти века с тех пор как фотоэлементы были введены в практику лабораторно-исследовательской работы. Едва какие-нибудь 10—15 лет отделяют нас от первых технических их применений. И тем не менее они стали уже одним из важнейших орудий в арсенале современной техники. Производство и применение фотоэлементов вышли уже за стены научной лаборатории и перешли в промышленность. Звуковое кино, передача изображений (бильд-телеграфия), телевидение, сигнализация, безграничная область всевозможных регистрирующих и автоматически управляющих приспособлений — таковы важнейшие участки завоеванной — или вернее созданной — фотоэлементами территории. И насколько можно предвидеть тенденции развития техники в ближайшие десятилетия есть все основания полагать, что этой территории суждено грандиозное расширение.

Цель этой книжки — в самых общих чертах познакомить читателя — в первую очередь рабочего-изобретателя — с основами и принципами устройства фотоэлементов и их возможными применениями. Книжка преследует только цель — рассказать возможно понятнее, „как это устроено“, показать возможные направления внедрения фотоэлементов в технику и возбудить интерес к более глубокому изучению вопроса.

Все технические и конструктивные подробности сознательно опущены автором, который будет считать свою задачу выполненной, если читатель, получив ясное представление о принципах и возможностях работы фотоэлементов, задумается над возможным их применением в близкой ему области.

Л. Тумерман.

3 июня 1934.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

ГЛАВА I.

Фотоэлектрический эффект.

1. Общее знакомство с явлением.

Фотоэлектрическим эффектом называется явление, о котором может дать представление следующий основной опыт. Представим себе (рис. 1) герметически закрытый стеклянный сосуд, воздух из которого по возможности откачан [1]). В этот сосуд впаяны две проволоки, соединенные с металлическими пластинками *K* и *A*. Наружные концы этих проволок присоединены к очень чувствительному прибору для измерения слабых электрических токов (гальванометру или электрометру, *G*). Сбоку имеется небольшой отросток, закрытый кварцевым окошком *Q*, через которое на пластинку *K* может направляться пучок видимых или ультрафиолетовых лучей. Так как в цепь, содержащую гальванометр, не включено ни гальванической батареи, ни какого-нибудь другого источника тока, то, когда лучи не действуют на

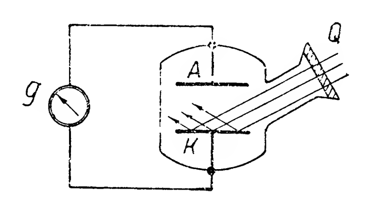


Рис. 1.

[1]) Пространство, воздух из которого по возможности откачан, называется „вакуумом". Иначе говорят еще, что данный сосуд „эвакуирован". Современные насосы дают возможность доводить разрежение до давления газа в 1/1 000 000 *мм* ртутного столба, т. е. понижать его по сравнению с нормальным давлением примерно в 750 миллионов раз. Это означает, что в сосуде остается только одна 750-миллионная часть первоначального количества воздуха. Тем не менее, нужно иметь в виду что даже в таком „высоком вакууме" остается еще очень много молекул воздуха. В нормальных условиях, т. е. при 0° и давлении в 760 *мм* ртутного столба в каждом кубическом сантиметре газа имеется около $28 \cdot 10^{18}$ молекул. Значит, даже в самом высоком вакууме еще остается примерно $36 \cdot 10^{9}$, т. е. 36 миллиардов молекул на каждый кубический сантиметр газа.

пластинку *K*, тока в цепи нет. Но достаточно только открыть лучам доступ к пластинке, как в тот же момент в цепи возникает ток, который заставляет указатель гальванометра отклониться. Этот „фотоэлектрический ток" циркулирует все время, пока продолжается освещение пластинки.

Таким образом в описанном опыте энергия лучей, поглощенных металлической пластинкой *K*, превращается в энергию электрического тока. В этом и заключается в такой постановке опыта фотоэлектрический эффект, или точнее „внешний" фотоэлектрический эффект, ибо позже мы познакомимся с другим видом этого явления, где не возникает тока во внешней цепи, и увидим, что составляет их сходство и отличие.

Открытие фотоэлектрического эффекта нужно отнести к 1887 г., когда известный немецкий физик Генрих Герц впервые обратил внимание на то, что при освещении ультрафиолетовыми лучами расстояние между металлическими шариками, при котором между ними начинает проскакивать при прочих неизменных условиях электрическая искра, может быть увеличено. После этого в следующем году Вильгельм Гальвакс описал ряд опытов, в которых он уже имел дело непосредственно с фотоэлектрическим эффектом, правда, в несколько иной форме, нежели та, в которой мы познакомились с этим явлением.

Гальвакс сам наблюдал фотоэлектрический эффект на цинке, но очень скоро ряд исследователей, среди которых нужно особенно отметить профессора Московского университета А. Г. Столетова, показал, что этот эффект не является свойством одного только цинка. Наоборот, в настоящее время мы можем считать установленным, что фотоэлектрический эффект может наблюдаться на всех телах, как твердых, так и жидких и газообразных. Все дело лишь в том, чтобы подобрать подходящую длину волны тех лучей, которыми мы данное тело освещаем. Напомним, что видимые световые лучи имеют длину волны от 8 стотысячных долей сантиметра (для красных лучей) до 4 стотысячных (для фиолетовых лучей). Все остальные волны уже не воспринимаются нашим глазом и могут быть обнаружены лишь по каким-нибудь другим (тепловым, химическим и др.) их свойствам. Лучи, которым соответствует длина волны от $8 \cdot 10^{-5}$ *см* (граница красных лучей) примерно до 0,1 *см*, называются

инфракрасными. Еще бо́льшую длину (до нескольких тысяч метров) имеют радиоволны, применяемые для беспроволочной телеграфии и широковещания. Со стороны коротких волн к видимым фиолетовым лучам примыкают другие невидимые лучи, так называемые ультрафиолетовые; они обнаруживаются по их действию на фотографическую пластинку, по ряду химических реакций, вызываемых ими, по способности вызывать свечение некоторых веществ и, наконец, по создаваемому ими фотоэлектрическому эффекту. Ультрафиолетовые лучи охватывают область длин волн примерно от $4 \cdot 10^{-5}$ до 10^{-6} *см*. Еще более коротким длинам волн соответствуют рентгеновские лучи, применяющиеся в медицине и технике для просвечивания непрозрачных предметов, а за ними следуют так называемые гамма-лучи, испускаемые радиоактивными веществами. Соотношения между этими различными видами лучей наглядно изображены на рис. 2.

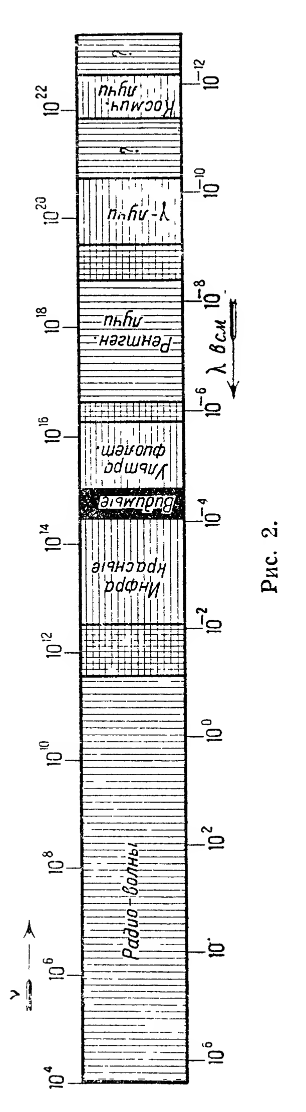


Рис. 2.

Несмотря на все различие свойств и условий возникновения, по своей природе все эти лучи совершенно тождественны. Качественные различия между ними создаются лишь различной длиной волны. Резкого перехода от одних лучей к другим не существует, так что, например, самые короткие радиоволны и самые длинные инфракрасные вообще ничем не отличаются друг от друга и представляют собой одно и то же.

Чтобы не иметь дела с очень маленькими дробями, длину волн обычно измеряют в особых очень маленьких единицах: микронах и миллимикронах. Микрон — 0,001 миллиметра,

т. е. одна десятитысячная сантиметра (10^{-4} *см*), а миллимикрон — одна тысячная микрона (10^{-7} *см*). Обозначается микрон греческой буквой μ (мю), а миллимикрон — буквами $m\mu$. Таким образом можно сказать, что границы длин волн видимого света от 0,8 (красные лучи) до 0,4 μ (фиолетовые лучи) или от 800 до 400 $m\mu$.

Ультрафиолетовые лучи охватывают область от 400 $m\mu$ примерно до 10 $m\mu$.

Иногда также при измерении длин волн принимают в качестве единицы одну десятую миллимикрона (10^{-8} *см*) и называют эту единицу ангстремом (обозначение: Å) по имени известного ученого Ангстрема. Таким образом, например, можно сказать, что определенным зеленым лучам соответствует длина волны в 0,00005 *см*, или 0,5 μ, или 500 $m\mu$, или 5000 Å.

На большинстве веществ фотоэффект получается лишь при освещении коротковолновыми ультрафиолетовыми лучами. Например, для того чтобы получить фотоэлектрический эффект с цинка, нужно ультрафиолетовые лучи с длиной волны не больше 375—400 $m\mu$, для получения эффекта с меди — не больше 275 $m\mu$. Лишь очень немногие вещества, как натрий, калий и другие щелочные металлы, дают эффект при действии видимого света.

Что касается интенсивности (силы) освещения, то чувствительность фотоэлектрического эффекта в этом отношении изумительна. Достаточно, например, света самых слабых, почти невидимых глазом звезд, чтобы получить эффект, хотя и очень небольшой, но все же поддающийся точному измерению.

Прежде чем заняться подробнее законами фотоэлектрического эффекта и некоторыми подробностями этого явления, мы постараемся разобраться в самой сущности его с точки зрения современных представлений о строении вещества и природе электрического тока.

2. Современные представления о строении вещества и природе электричества.

Рассмотрим какое-нибудь простейшее явление, в котором тело становится электрически заряженным, или, как говорят, приобретает электрический заряд, например, так называемое явление „электризации при трении“. Читателям, вероятно, известно, в чем это явление

заключается. Если взять палочку сургуча, янтарный мундштук или эбонитовый гребешок и натереть его куском сукна, то оба эти тела приобретают ряд особых свойств, например способность притягивать находящиеся поблизости легкие тела (обрывки бумаги). Мы говорим, что каждое из этих тел приобрело электрический заряд, или стало электрически заряженным. Заряды, возникающие, скажем, на янтаре, с одной стороны, и на сукне — с другой, мы считаем противоположными по знаку: один заряд (заряд янтаря) мы считаем отрицательным, а другой (заряд сукна) положительным. Какой именно заряд считать положительным и какой — отрицательным, это дело условное; можно было бы, и наоборот, считать заряд янтаря положительным, но важно для нас, что существуют два противоположных вида электрического заряда, которые как бы взаимно уничтожают, или точнее, „нейтрализуют" друг друга. Если мы, например, соединим проволокой два тела с противоположными по знаку и одинаковыми по величине зарядами, то оба тела потеряют свой заряд и не будут проявлять никаких электрических свойств.

Все эти элементарные явления были известны еще очень давно, и хотя сами по себе явления электризации трением имеют сравнительно малое значение, однако, исторически из них развилось все грандиозное здание современного учения об электричестве и электротехнике. Прямая линия исторического развития связывает турбины Днепрогэса с натертыми янтарными палочками, которые впервые стал изучать систематически английский ученый Джильберт в конце XVI в.

Нас однако здесь интересует не это историческое развитие, а ответ на вопрос о самой сущности электричества и его связи со строением вещества. Как мы должны смотреть на электрический заряд? Что он собой представляет? Уже Джильберт, заложивший в своей книге „О магнитах, магнитной силе и великом магните Земли" начало учению об электричестве, высказал ту точку зрения, которая не исчезала из науки во всем ее дальнейшем развитии. Именно, он считал, что электричество есть особая форма, особый вид материи. Развитие науки привело к уточнению этого взгляда в двух направлениях, которые, тесно переплетаясь между собой, привели к современной теории строения вещества.

Первое направление касается связи между этой электрической материей, или, как говорят, электрической субстанцией, и обычными веществами, которые окружают нас. Для Джильберта и его ближайших последователей обычные вещества (железо, сера, янтарь и т. п.) были чем-то совершенно независимым от электрической субстанции: электричество существует само по себе, вещество — само по себе. Когда электрическая субстанция, так сказать, „налипает" на тело, тело делается „заряженным". Но уже к началу XIX в. работы Дэви и Фарадея выяснили несостоятельность такой точки зрения. Изучение гальванических элементов и явлений прохождения электрического тока через растворы показало, что электрическая субстанция чрезвычайно тесно связана с внутренним строением атомов вещества, что существует некоторое количество электричества, связанное с каждым отдельным атомом вещества.

Другая линия развития связана с выяснением строения самой электрической субстанции. Прежде всего — как истолковать факт существования двух противоположных сортов электрического заряда? Здесь долгое время боролись две противоположные теории: так называемые унитарная и дуалистическая теории. Первая из этих теорий предполагала существование только одного вида электрической субстанции; избыток ее в теле по сравнению с нормой соответствует заряду одного знака, а недостаток — заряду противоположного знака. Согласно второй теории, существуют два различных вида электричества: в нейтральном теле они имеются в одинаковых количествах и взаимно нейтрализуют друг друга, а в заряженных телах мы имеем избыток того или иного вида электричества. К настоящему моменту мы стоим на точке зрения дуалистической теории и признаем раздельное существование положительного и отрицательного электричества, хотя некоторые из новейших теорий позволяют думать, что в конечном счете возможен возврат к унитарной теории, — правда, в очень усложненном и измененном виде.

Другой важнейший вопрос возник в связи с развитием атомистических представлений о строении вещества. Вы знаете, конечно, что каждое вещество построено из отдельных мельчайших частичек: атомов и молекул. Можно различными способами подсчитать число этих частиц в

данном количестве вещества и определить их массу. Именно оказывается, что если вы возьмете одну грамм-молекулу любого вещества, т. е. число граммов этого вещества, равное атомному или молекулярному его весу[1]) (например 200,6 *г* ртути, 18 *г* воды и т. п.), то в этом количестве вещества всегда будет содержаться одно и то же число частиц: $6{,}06 \cdot 10^{23}$, т. е. приблизительно 600 000 миллиардов раз по миллиарду частиц. Понятно, что масса каждой частицы должна быть при этом необычайно мала. Именно последним обстоятельством — малостью массы каждой отдельной частицы — и объясняется то, что нам кажется, будто мы можем изменять массу вещества непрерывно. На самом деле она всегда изменяется скачками: мы прибавляем или убавляем 1, 2, 3,... и т. д. частицы.

Спрашивается, а как происходит изменение электрического заряда? Можем ли мы изменять его действительно непрерывно или кажущаяся непрерывность изменения заряда объясняется только малостью частичек, из которых состоит электрическая субстанция? Иными словами, непрерывна ли электрическая субстанция или и она построена из отдельных частиц — своего рода атомов электричества? Уже работы Фарадея приводят именно к последней, атомистической, точке зрения. Действительно, если какое-то количество электричества связано с каждым атомом вещества, то естественно считать, что и само электричество построено из атомов.

Больше того, на основании открытых Фарадеем законов прохождения тока через растворы, легко подсчитать величину заряда каждого такого атома электричества. Расчет здесь очень прост. Представьте себе сосуд с раствором какой-нибудь соли, скажем медного купороса, в который погружены две металлические пластины. Если вы соедините эти пластины с батареей и заставите ток проходить через раствор, то на пластинах будут выделяться составные части соли, имевшейся в растворе. В нашем примере на пластине, соединенной с отрицательным полюсом батареи, будет выделяться медь. Фарадей показал, что

---

[1]) Атомным весом вещества называется число, показывающее, во сколько раз масса атома данного вещества больше массы атома водорода. Молекулярный вес есть сумма атомных весов всех атомов, входящих в состав молекулы сложного вещества. Например, молекула воды состоит из двух атомов водорода (ат. вес 1) и одного атома кислорода, (ат. вес 16), поэтому молекулярный вес воды равен 18.

для выделения граммолекулы любого вещества нужно, чтобы через раствор протекло одно и то же количество электричества, именно 96 500 кулонов, или ампер-секунд[1]). Точнее говоря, существует группа веществ, для выделения граммолекулы которых требуется 96 500 ампер-секунд, для других веществ требуется два раза 96 500 ампер-секунд, для третьих — три раза 96 500 ампер-секунд и т. д. Если мы припомним, что граммолекула любого вещества содержит одно и то же количество частиц, то нам станет ясно, что в первом случае каждая выделяющаяся частица переносит один атом электричества, во втором — два атома, в третьем — три атома и т. д. Возьмем для простоты первый случай. Всего в одной граммолекуле переносится $6{,}06 \cdot 10^{23}$ частицы, каждая из которых несет на себе один атом электричества, а общий перенесенный заряд равен 96 500 ампер-секунд. Ясно, что заряд каждой частицы равен $\frac{96\,500}{6{,}06 \cdot 10^{23}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ ампер-секунды. Впоследствии удалось различными весьма сложными методами измерить непосредственно заряд одного отдельного атома электричества, причем была получена та же величина.

Дальнейшие исследования в области строения электричества и вещества, в большой мере связанные с изучением явлений прохождения тока через газы, позволили выяснить два основных факта. Во-первых, оказалось, что электрический заряд не распределен равномерно по всему объему атома, а сконцентрирован в отдельных его частях, весьма малых даже по сравнению с объемом атома. Во-вторых, удалось выяснить, что хотя численно заряд положительного и заряд отрицательного атома электри-

---

[1]) Напомним некоторые сведения об основных электрических единицах. Согласно международному соглашению, основными электрическими единицами являются: единица силы тока — ампер и единица сопротивления — ом. Сила тока равна 1 амперу, если этот ток в течение секунды выделяет из раствора азотнокислого серебра 1,118 *мг* серебра, 1 ом есть сопротивление, которое имеет при 0° столб ртути с сечением в 1 *мм*^{2} и длиной 106,3 *см*. С помощью этих единиц определяются все остальные. Например, единица электрического напряжения 1 вольт есть такое напряжение, которое при сопротивлении цепи в 1 ом дает ток силой в 1 ампер. Единицей количества электричества является то количество его, которое протекает в секунду в цепи при силе тока в 1 ампер. Это количество электричества называется 1 ампер-секундой или 1 кулоном. Единицей мощности служит ватт, равный мощности тока силой в 1 ампер при напряжении в 1 вольт. Единицей работы служит 1 ватт-секунда и т. д.

чества равны (заряд и того и другого равен $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ ампер-секунды), однако между ними существует важное и принципиальное различие в отношении той массы, которой они обладают. Именно, атомы отрицательного электричества, для которых в 1891 г. Стоней предложил специальное название „электрон", могут быть получены в „свободном" виде, т. е. не связанными с веществом. При этом, каким бы способом мы ни получали свободные электроны, масса их всегда оказывается одной и той же, она примерно в 2000 раз меньше массы самого легкого из атомов — атома водорода. Наоборот, положительные электрические частицы всегда связаны с той или иной массой вещества. Наименьшая масса, с которой может быть связан один атом положительного электричества, почти равна массе атома водорода. Частица, обладающая положительным зарядом, равным заряду электрона ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ ампер-секунды), и массой, равной массе ядра водородного атома ($1{,}7 \cdot 10^{-24}$ *г*), называется „протоном". Из этих элементарных частиц — протонов и электронов — построены по современным представлениям атомы всех веществ [1]).

Здесь мы не можем входить в подробное освещение этой грандиозной теории [2]). Укажем лишь в самых общих чертах, как представляет себе современная наука строение атома. По основному представлению, введенному в науку Резерфордом, каждый атом представляет собой подобие солнечной системы. В центре атома имеется положительно заряженное ядро, заряд и масса которого

[1]) Работы ряда физиков, произведенные в 1933 г., показали, что, повидимому, кроме электрона и протона, существуют также мельчайшие частицы, обладающие такой же массой, как протон, но совершенно не имеющие электрического заряда („нейтроны"), а также частицы, имеющие положительный заряд, численно равный заряду электрона, и обладающие такой же массой, как последний („позитроны"). В связи с этим возникла гипотеза о том, что сам протон не является первичной, простейшей частицей, а построен из позитронов и нейтронов. Несомненно, что эти работы имеют крупнейшее значение и обещают серьезнейшим образом изменить наши представления о строении атома.

[2]) Желающих познакомиться более подробно с современными взглядами на строение вещества мы отсылаем к книжке С. Конобеевского, Атомы и молекулы. Более подготовленным читателям мы можем рекомендовать книжки: Крамерс и Гольст, Строение атома и теория Бора и Т. Сведберг, Материя, а также два превосходных сборника статей „Физика", выпущенных Государственным издательством в серии под общим названием „Наука XX века".

различны для разных элементов. Вокруг этого „солнца" вращается ряд „планет"—электронов, общий заряд которых равен заряду ядра. Поэтому атом в нормальном своем состоянии представляется нам незаряженным. Действительно, если мы представим себе частицу на расстоянии „большом" по сравнению с размерами атома, скажем на расстоянии в одну миллионную (10^{-6}) *см*, то разница между противоположными действиями на нее положительных и отрицательных частиц будет так мала, что практически мы этих действий обнаружить не сумеем. Но в непосредственной близости к атому (на расстояниях порядка 10^{-8} *см*) действуют весьма сложные силы. Характер этих электрических сил обусловливает все свойства совокупностей атомов твердых, жидких и газообразных тел. Твердость и упругость твердых тел, вязкость и сжимаемость жидкостей, явления в пограничных слоях и т. д.,—объяснение всех этих явлений в конечном счете сводится к строению электрических полей атомов различных веществ. То же происхождение имеет и природа химических сил, связывающих атомы различных веществ в одну устойчивую молекулу соединения.

Остановимся еще немного на относительных размерах различных частиц. Радиус атома, определенный различными способами, оказался равным в среднем 10^{-8} *см* (одной стомиллионной доле сантиметра). Радиус электрона принимают равным примерно $2 \cdot 10^{-13}$ *см*, т. е. он приблизительно в сто тысяч раз меньше радиуса атома. Для радиуса же протона расчеты дают значение, еще в 200 раз меньшее. К сожалению, изобразить эти соотношения наглядно на чертеже невозможно, потому что, если бы мы изобразили протон в виде кружка с поперечником в 1 *мм*, то для электрона нужно было бы взять круг с поперечником в 20 *см*, а для атома — круг с поперечником около 20 *км*. Вы видите, таким образом, что лишь ничтожная часть объема атома занята электронами и протонами, все же остальное пространство пусто. Это наглядно иллюстрируется следующим расчетом, который произвел известный физик Ленард. Представим себе кусок тяжелого металла, скажем платины, объемом в 1 $м^3$; такой кусок весит около 21 *т*. Объем всех электронов и протонов, входящих в этот кусок, составляет, однако, не больше 1 $мм^3$, все же остальное — пустота.

Если теперь, вооружившись этой электрической теорией строения вещества, мы вернемся к тому процессу „электризации трением“, с которого мы начали наше знакомство с электрическими явлениями, то мы прежде всего сумеем выяснить то поразительное обстоятельство, что в этой „электризации трением“ трение по существу играет совершенно второстепенную роль. Истинная же причина этого явления заключается во взаимодействии молекул различных веществ, тесно соприкасающихся одна с другой. Когда мы говорим о молекулах или атомах, „тесно“ соприкасающихся, то имеем в виду частицы, сближенные на расстояния порядка размеров атома, т. е.

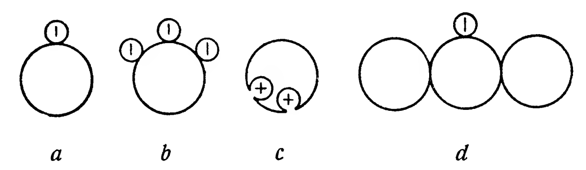


Рис. 3. Схематическое изображение ионов:
a — отрицательный одновалентный атомный ион;
b — отрицательный трехвалентный атомный ион;
c — положительный двувалентный атомный ион;
d — отрицательный одновалентный молекурный ион.

частицы, отстоящие друг от друга на расстоянии порядка 10^{-8} *см.* На таких малых расстояниях еще очень сильны электрические силы атома, и каждый раз, как две различные частицы сближаются на такое расстояние, происходит своего рода „грабеж“. Частица одного вещества захватывает себе один или несколько электронов из другой частицы. Получается, скажем, в веществе *A* избыток электронов, а в веществе *B* недостаток их. Такие вещества уже не будут электрически нейтральными. В них заряд одного знака будет сильнее, чем заряд другого знака. В нашем примере частицы *A* становятся заряженными отрицательно, а частицы *B* приобретают положительный заряд. Молекулы или атомы с избытком электронов называются отрицательными, а с недостатком электронов — положительными и о н а м и. Число излишних или недостающих электронов называется в а л е н т н о с т ь ю иона. Говорят об одновалентных, двувалентных и т. д. ионах. Все это очень наглядно иллюстрируется схематическим рис. 3.

Какую же роль играет в этом процессе трение? Тел с идеально гладкой поверхностью не существует. Если рассматривать тело через микроскоп с достаточным увеличением, то все тела оказываются более или менее шероховатыми. Поэтому, когда мы прикладываем два тела вплотную одно к другому, то действительно „тесное“ соприкосновение их, в том смысле, как мы говорили выше, происходит только в отдельных, сравнительно немногочисленных точках (на рис. 4 такая точка отмечена буквой x). Во всех же остальных точках расстояние между частицами обоих веществ значительно больше, чем 10^{-8} *см*, и здесь поэтому разделения зарядов не происходит. Натирая одно тело другим, мы только увеличиваем число точек их „тесного“ соприкосновения, т. е. число точек, в которых происходит ионизация.

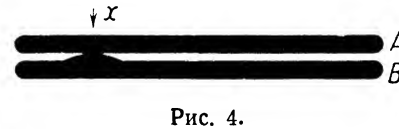


Рис. 4.

Таким образом, суммируя все сказанное выше, мы должны отметить следующие два основных факта:

1) Атомы и молекулы всех веществ построены из положительных и отрицательных элементарных электрических частиц (протонов и электронов).

2) Когда какое-нибудь тело приобретает электрический заряд, это всегда означает, что либо оно потеряло часть своих электронов, т. е. часть его молекул превратилась в положительные ионы, либо оно, наоборот, приобрело некоторое количество лишних электронов; эти электроны либо присоединились к его молекулам, образовав отрицательные ионы, либо остались в теле в свободном состоянии, не будучи связаны с каким-нибудь определенным атомом.

Нам осталось еще сказать несколько слов об электрическом токе. Электрический ток представляет собой процесс переноса электрических частиц от одного тела к другому. Этот процесс происходит в различных случаях по-разному. Например, в случае прохождения тока через металлы мы имеем перемещение свободных электронов, которые движутся в направлении от того тела, где они имеются в избытке (отрицательного полюса, иначе катода), к тому телу, где их нехватает (положительному полюсу, иначе аноду). В случае же прохождения тока

через растворы солей или кислот переносятся не свободные электроны, а заряженные частицы вещества — ионы. Говорят, что проводимость в металлах — электронная, а в растворах — ионная. Понятно, что положительные ионы перемещаются по направлению к отрицательному полюсу (катоду), а отрицательные ионы — в обратную сторону, к аноду. Условно за направление электрического тока принимают направление движения положительных частиц, т. е. направление от положительного полюса к отрицательному, но нужно ясно понимать, что это направление выбрано совершенно условно и далеко не всегда совпадает с направлением фактического перемещения электрических частиц. С точки зрения же окончательного результата вообще безразлично, перенесем ли мы некоторое количество положительных зарядов с положительного полюса на отрицательный или перенесем такое же количество электронов с отрицательного полюса на положительный. И в том и в другом случае мы получим уменьшение положительного и отрицательного заряда, т. е. выравнивание электрического состояния обоих тел.

„Фотоэлектрический ток", который мы можем наблюдать в приборе, изображенном на рис. 1, представляет собой ток электронный. Поднося к прибору достаточно сильный магнит, мы можем обнаружить отклонение электрических частиц, движущихся в пространстве между электродами *К* и *А*, и по направлению этого отклонения можно установить, что частицы эти имеют отрицательный заряд. Такими отрицательными частицами могут быть, как показывает всестороннее исследование, только электроны.

Протоны и электроны в атоме удерживаются электрическими силами и образуют более или менее устойчивую систему. Чтобы эту систему нарушить, т. е. вырвать из нее один электрон, нужно затратить некоторую работу, так называемую работу ионизации. В рассмотренном выше случае ионизации при соприкосновении двух тел эта работа производится электрическими силами, действующими вблизи атомов (как говорят, силами атомных электрических полей) В иных случаях можно ионизовать атомы или молекулы за счет тепловой энергии, если нагреть тело до достаточно высокой температуры, или за счет световой энергии, поглощенной частицей, но всегда эта затрата работы ионизации необходима.

Однако, и в том случае, когда в теле имеется некоторое количество свободных электронов, эти электроны не могут сами по себе оставить тело и вылететь в окружающее пространство: их удерживают силы, действующие на границе тела. Чтобы вырвать электрон — даже свободный — из тела, всегда необходима затрата некоторой работы, которая носит название работы выхода. Простейший случай такого вырывания электронов мы имеем в так называемом явлении термоэлектронного испускания, на котором основана конструкция известных каждому радиолюбителю катодных ламп. Заключается это явление в следующем. Если вы поместите в безвоздушное пространство (вакуум) проволоку K (рис. 5) и соедините эту проволоку с одним полюсом батареи B, а другой полюс батареи через гальванометр G присоедините к пластинке A, помещенной в тот же сосуд, то ток в этой цепи не пойдет, потому что электроны не могут вырваться из проволоки K и перескочить через безвоздушный промежуток к пластинке A. Но достаточно раскалить проволоку до-красна (для этой цели служит специальная „батарея накала“ H), как гальванометр сейчас же обнаружит довольно сильный ток. Это значит, что за счет тепловой энергии часть электронов получила возможность вырваться из проволоки K. Эти электроны, перелетающие к пластинке A, и образуют электрический ток.

Совершенно аналогичное явление мы имеем и в фотоэлектрическом эффекте. Когда свет поглощается в том или ином теле, то за счет поглощенной световой энергии часть электронов вырывается из этого тела и вылетает с большей или меньшей скоростью в окружающее пространство. Поэтому, если первоначально тело имело отрицательный заряд, то под влиянием освещения оно постепенно этот заряд будет терять.

В такой форме и изучили первоначально это явление Гальвакс, Столетов и др. Схематически эти опыты изображены на рис. 6. Здесь цинковая пластинка Zn, соединенная с листками электроскопа, заряжалась отрицательно. Когда экран S задерживает лучи света от источника (вольтовой дуги), заряд держится на пластинке очень хорошо, и листки электроскопа очень долго не спадают. Но достаточно убрать экран, и заряд на пластинке начнет очень быстро „таять“, так как обусловливающие его

лишние электроны вырываются из металла за счет поглощенной световой энергии и вылетают в окружающее пространство. Например, в таких опытах Эльстера и Гейтеля тщательно изолированная пластинка из сплава (амальгамы) ртути и калия заряжалась до 195 вольт и под влиянием света теряла в течение 5 секунд весь свой заряд, тогда как без освещения заряд на ней может держаться десятки минут.

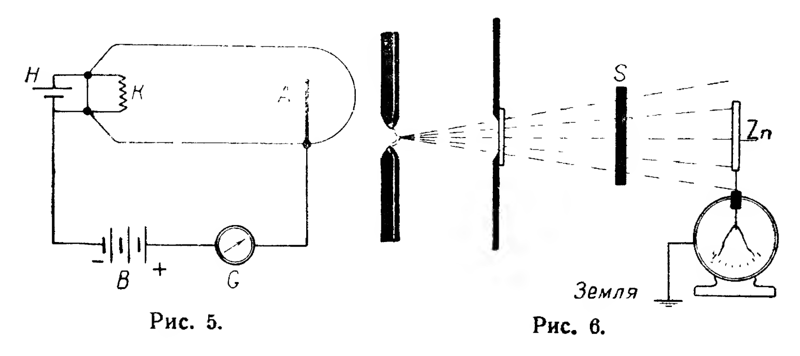


Рис. 5. Рис. 6.

Таким образом мы приходим к следующему очень важному выводу: **сущность внешнего фотоэлектрического эффекта заключается в вырывании электронов и вылете их в окружающее пространство за счет поглощенной лучистой энергии. Эти электроны часто называют фотоэлектронами.**

3. Основные законы фотоэлектрического эффекта.

Выяснив в предыдущем разделе, в чем заключается сущность явления, мы можем теперь задать вопрос: чем определяется число вылетающих электронов и их скорость? Ответ на этот вопрос дают следующие два основных закона фотоэффекта, тщательно и многократно проверенные на опыте.

1) **Число вылетающих электронов строго пропорционально падающей на тело световой энергии.** Опыты для проверки этого закона можно ставить в двух направлениях. Во-первых, можно изменять силу (интенсивность) падающего света и определять число электронов, вылетающих за один и тот же промежуток времени. Во-вторых, можно давать освещение постоянной

силы и менять время его действия. Различные исследователи проверяли этот закон и тем и другим путем, меняя и силу света и время в очень широких пределах. Например, яркость освещения изменяли от 30 000 люксов [1]) до $6 \cdot 10^{-4}$ люкса, т. е. в пятьдесят миллионов раз, пробовали давать очень длительное и очень короткое освещение, длящееся ничтожные доли секунды (электрическая искра). Во всех случаях был получен один и тот же результат: на каждую единицу падающей энергии — независимо от того, будет ли дан сильный свет в течение короткого времени или слабый свет в течение большого промежутка времени, — приходится одно и то же количество вылетающих электронов. Число электронов, приходящееся на единицу поглощенной телом лучистой энергии, называется фотоэлектрическим выходом.

Этот закон нужно, однако, принимать с одной оговоркой. Именно, изменяя интенсивность света или время его действия, мы не должны изменять цвета или — в более общей форме — длины волны падающего излучения. Мы говорили, что на каждую единицу энергии приходится одинаковое количество вырванных электронов, но количество это существенно зависит от длины волны (или частоты) падающей лучистой энергии. Мы можем, например, бросить на цинковую пластинку какое угодно количество энергии в виде красных лучей и не получим ни одного фотоэлектрона. Напротив, достаточно минимального количества энергии, но в виде коротких ультрафиолетовых лучей, чтобы получить целый рой фотоэлектронов.

В общих чертах зависимость фотоэлектрического выхода от длины волны такова. Для каждого вещества существует определенная длина волны, являющаяся так называемой „длинноволновой“ или „красной“ границей фотоэлектрического эффекта. Это значит, что длины волн, бо̀льшие этой границы, вообще не дают никакого фотоэлектрического эффекта. Для большинства тел эта „длинноволновая граница“ лежит в ультрафиолетовой области спектра, например для золота, платины, никеля она соответствует 285 mμ, для меди — 275 mμ, для

[1]) Люкс — единица освещенности, соответствующая той освещенности, которую дает одна свеча (международная) на поверхности, отстоящей на 1 *м*.

серебра — 315 mμ и т. п. Лишь для элементов щелочной и щелочноземельной группы (калий, натрий, цезий, кальций и др.) она находится в видимой части спектра. Начиная от этой границы, фотоэлектрический выход быстро возрастает в сторону коротких волн, т. е. в сторону возрастания частоты колебаний в падающей волне. График на рис. 7 наглядно изображает эту зависимость для платины. Такого рода графики называются графиками спектрального распределения.

Рис. 7.

2) *Наибольшая скорость вылетающих электронов совершенно не зависит от интенсивности света и определяется только длиной волны его; она строго пропорциональна корню квадратному из частоты падающего излучения, т. е. обратно пропорциональна корню квадратному из длины волны.*

Этот закон нуждается в некоторых пояснениях. Не все вылетающие при определенных условиях электроны имеют одну и ту же скорость. Напротив, наряду с быстро летящими имеются всегда и электроны со значительно меньшей скоростью. Наибольшее количество электронов имеет некоторую среднюю скорость, и чем больше скорость отличается от этого среднего значения, тем меньшее число электронов обладает ею. Вопрос о скорости электронов интересен вот с какой точки зрения. Вы знаете, конечно, что кинетическая энергия, или энергия движения всякого тела, в том числе и электрона, равна $\frac{1}{2} mv^2$, где m масса тела, а v — скорость его. Таким образом скорость электрона определяет ту энергию, с которой он вылетает из тела. Наибольшая возможная при тех или иных условиях скорость определяет, следовательно, наибольшую энергию, которой

может обладать при этих условиях вылетающий из тела фотоэлектрон. Смысл формулированного выше закона заключается, следовательно, в том, что наибольшая энергия, которой может обладать фотоэлектрон, совершенно не зависит от той общей энергии, которая действует на тело, а определяется только длиной соответствующей волны или, что то же, частотой колебаний в этой волне.

Оба эти закона представляли чрезвычайные трудности и совершенно не поддавались объяснению с точки зрения старой волновой теории света, рассматривавшей свет только как процесс распространения электромагнитной волны, но они очень просто объясняются с точки зрения современной, так называемой квантовой теории[1]).

Основное положение этой теории заключается в том, что испускание и поглощение света (не только видимого, но и вообще всякой лучистой энергии) происходит не непрерывно, а отдельными порциями, которые и носят название **квантов**. Каждая частица вещества может поглотить только один, два или вообще целое число таких квантов. Кванты, соответствующие различным частотам испускаемого или поглощаемого излучения, не одинаковы по своей величине. Если мы обозначим, как это принято, длину волны буквой λ, то частота этой волны равна $\frac{c}{\lambda}$, где c — скорость света, равная 300 000 *км* в секунду или $3 \cdot 10^{10}$ *см/сек.* Частоту принято обозначать буквой ν (ню). Величина соответствующего кванта равна произведению некоторой постоянной величины, так называемой постоянной Планка h, на частоту ν.

Таким образом, чем длиннее волна, тем меньше ее частота и тем меньше, следовательно, квант соответствующего излучения. Частоты, соответствующие видимым и ультрафиолетовым лучам, чрезвычайно велики; например, для красных лучей с длиной волны 600 mμ частота равна $\nu = 5 \cdot 10^{14}$, для других видимых и ультрафиолетовых лучей она еще больше. Но с другой стороны, величина h очень мала; она равна $6{,}54 \cdot 10^{-27}$ эрг/сек. Поэтому кванты тех видов излучения, с которыми нам приходится иметь дело, чрезвычайно малы. Пока мы имеем дело с действиями света на тело как на одно целое (например,

---

[1]) Для ознакомления с основами этой теории можно особенно рекомендовать книжку О. Д. **Хвольсона**, Физика наших дней.

пока мы изучаем нагревание тела за счет поглощаемой им световой энергии), мы можем рассматривать поток энергии, доставляемой телу, как непрерывный. Но когда мы переходим к так называемым элементарным актам, т. е. к процессам, происходящим внутри каждого отдельного атома, мы должны считаться с квантовой природой лучистой энергии.

Квантовая точка зрения совершенно просто и естественно объясняет законы фотоэффекта. Первый закон почти не требует пояснений. Ясно, что если квант достаточно велик, чтобы при благоприятных условиях вырвать электрон из данного тела, то чем больше квантов падает на тело, тем больше будет вырвано электронов. Также понятна и зависимость фотоэлектрического выхода от частоты падающего света. Чем больше частота, тем больше соответствующий квант и тем больше, естественно, вероятность того, что этот квант вырвет электрон.

Легко объясняется с этой точки зрения и существование „длинноволновой", или „красной", границы фотоэлектрического эффекта. Фотоэлектрический эффект может быть произведен данными лучами лишь в том случае, если энергия *каждого отдельного кванта* не меньше работы выхода, необходимой для вырывания фотоэлектрона из тела. Поэтому, зная длинноволновую границу, мы можем вычислить работу вырывания для данного вещества. Полученные таким путем значения этой работы очень хорошо совпали с данными, полученными другими методами.

Второй закон так же просто может быть понят на основе квантовой точки зрения. Поскольку данная частица вещества может поглощать только целый квант, постольку, конечно, для нее не имеет значения, сколько вообще квантов падает на тело, а существенно лишь, чтобы поглощенный ею квант был достаточно велик. Поэтому, если частота света настолько мала, что каждый квант в отдельности не несет запаса энергии, достаточного для вырывания электрона, то сколько бы квантов ни падало на тело, фотоэлектрический эффект не будет иметь места. Если же кванты достаточно велики, то процесс, происходящий в каждом атоме, не зависит от количества квантов, т. е. от общей падающей энергии, а определяется только величиной этого кванта. Поглощенный квант увеличивает запас энергии атома. Часть этой энергии тратится на

работу вырывания электрона из тела, остаток передается вылетевшему электрону. Понятно, что этот остаток в самом благоприятном случае будет тем больше, чем больше был поглощенный квант, т. е. чем больше была частота света (или, что то же, чем короче была длина его волны). Но мы видели, что энергия электрона определяется его скоростью. Значит, чем больше был поглощенный квант, тем больше будет та максимальная скорость, которую может иметь вылетевший электрон.

4. Селективный фотоэффект.

Фотоэлектрическая чувствительность различных веществ различна. Особенно высока она для щелочных металлов: калия, натрия, лития, цезия и рубидия (особенно для первых двух). Работами Поля и Прингсгейма установлены кроме того для этих элементов очень своеобразные фотоэлектрические явления, получившие название „селективного“ (избирательного) фотоэффекта. Сущность явления заключается в том, что спектральное распределение чувствительности этих элементов совершенно не похоже на то нормальное распределение, о котором мы говорили выше на стр. 20—21. Эти элементы имеют очень высокую чувствительность для определенных волн сравнительно большой длины (так называемый селективный максимум); начиная с этого места чувствительность понижается и в сторону длинных волн и в сторону коротких. В сторону длинных волн она убывает до нуля при некоторой определенной длине волны („красная“ граница чувствительности), а в сторону коротких волн она сначала убывает до некоторого минимального (наименьшего) значения, за которым следует новый нормальный подъем. График на рис. 8 изображает спектральное распределение фотоэлектрической чувствительности для

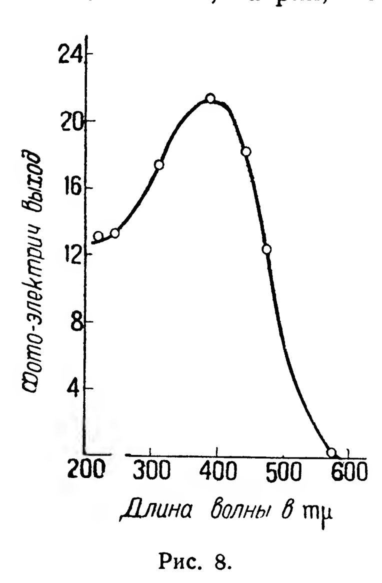


Рис. 8.

кальция, а рис. 9 дает это распределение для лития, натрия, калия и рубидия. Сравнив этот рисунок с рис. 7 для нормального фотоэлектрического эффекта, вы сразу увидите, в чем заключается своеобразие селективного фотоэлектрического эффекта. Помимо того теоретического интереса, который представляет селективный фотоэффект в виду ряда своих особенностей, он практически чрезвычайно важен в силу того, что щелочные металлы обладают очень высокой чувствительностью как раз в области длинноволновых (зеленых, желтых и даже красных) лучей, т. е. как раз в той области спектра, где наши

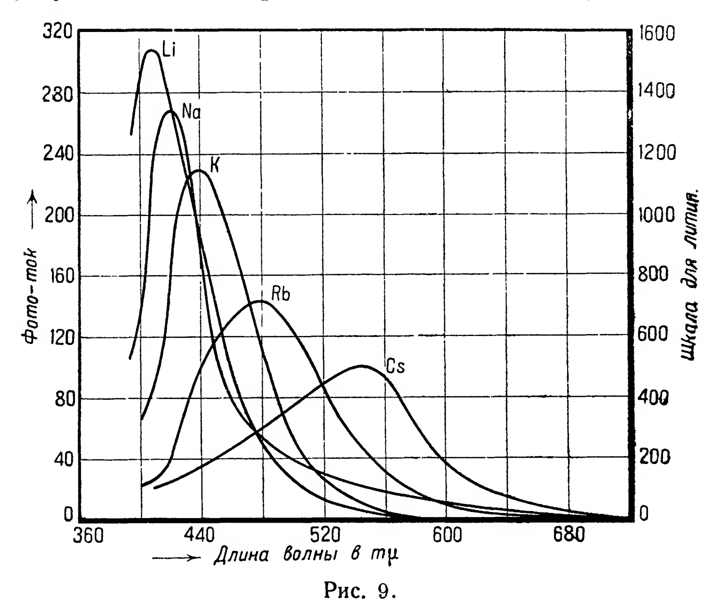


Рис. 9.

обычные источники света обладают довольно значительной энергией. В этом причина того, что в качестве светочувствительного слоя при практическом использовании фотоэффекта применяют чаще всего именно щелочные металлы

5. Внутренний фотоэлектрический эффект.

Во всех случаях, которые мы рассматривали до сих пор, мы наблюдали те электроны, которые вырываются из тела и вылетают во внешнее пространство. Отсюда и название „внешний“ фотоэлектрический эффект. Но ясно,

что далеко не все электроны, отщепленные светом от атома, могут вылететь наружу, часть их застревает внутри тела. Особенно велико число застревающих в теле электронов тогда, когда свет проникает в тело на большую или меньшую глубину, и вырывание электронов происходит во внутренних, глубоко под поверхностью лежащих атомах. Возможен и такой случай, что вообще ни один электрон наружу не вылетит, и действие света сведется лишь к отщеплению из атомов части электронов, застревающих затем внутри тела. Такое явление носит название „внутреннего“ фотоэлектрического эффекта.

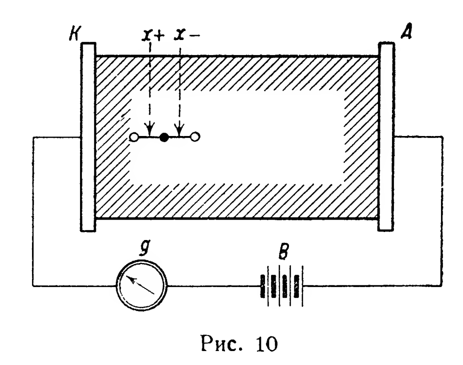


Рис. 10

Внутренним фотоэлектрическим эффектом объясняется давно известное явление изменения электрического сопротивления некоторых тел под влиянием освещения.

Впервые наблюдал это явление на тонких пластинах селена Смит в 1873 г. Селен — химический элемент с порядковым номером 34, расположенный в периодической системе элементов между металлом теллуром и неметаллом серой. По своим электрическим свойствам он также занимает промежуточное положение между проводниками и изоляторами. Хотя он и проводит электрический ток, но чрезвычайно плохо. Удельное сопротивление [1]) селена равно 70 000 *ом/см*, тогда как удельное сопротивление меди, например, равно $1{,}7 \cdot 10^{-6}$ *ом/см*. Таким образом селен является примерно в 35 миллиардов раз худшим проводником, чем медь. Однако, если селен освещать дневным или искусственным светом, то сопротивление его во много раз уменьшается, т. е. он становится гораздо лучшим проводником. Аналогичное явление было позже обнаружено и для ряда других веществ.

Схема основного опыта, в котором обнаруживаются эти явления, изображена на рис. 10. Здесь мы имеем

---

[1]) Удельное сопротивление равно численно тому сопротивлению, которое имел бы кубик из данного вещества со стороной в 1 *см*.

батарею высокого напряжения B (до нескольких тысяч вольт), полюса которой соединены с пластинками K и A; в цепь включен гальванометр G. Промежуток между этими пластинками заполнен селеном или иным изучаемым веществом. Если опыт вести в темноте, то ток, измеряемый гальванометром, будет чрезвычайно слаб вследствие большого сопротивления селена. Но достаточно осветить селен, как сила тока сейчас же во много раз возрастает. Представим себе какой-нибудь атом селена, изображенный на

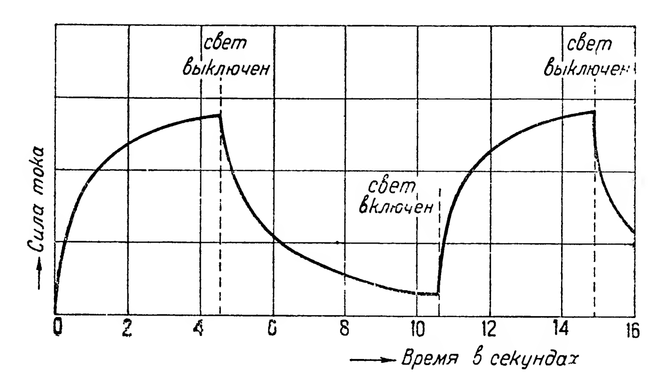


Рис. 11.

рис. 10 в виде черного кружка. За счет энергии поглощенного этим атомом кванта света от атома отщепляется электрон, который притягивается к положительной пластинке A и смещается на расстояние x_-. Оставшийся положительный ион притягивается к отрицательной пластинке и смещается на расстояние x_+. Это смещение заряженных частиц образует так называемый первичный фотоэлектрический ток, являющийся основным явлением и объясняющий все остальное. Сила первичного фотоэлектрического тока всегда пропорциональна поглощенной световой энергии.

Если падающие на тело кванты достаточно велики, например, если освещать тело рентгеновскими лучами, то, как показали Рентген и Иоффе, внутренний фотоэлектрический эффект наблюдается на всех телах, даже на таких, которые в нормальном состоянии являются изоляторами и вообще не проводят тока. Действие же меньших квантов видимого света и ультрафиолетовых лучей

может быть обнаружено лишь на некоторых кристаллах, вроде селена, алмаза, цинковой обманки и др.

Внутренний фотоэлектрический эффект значительно осложняется так называемыми вторичными фотоэлектрическими токами, обусловленными возвращением электронов к положительным ионам. Поэтому изученные на опыте закономерности внутреннего фотоэффекта для селена и других веществ весьма сложны и не во всех деталях объяснены. На графике рис. 11 вы можете, например, видеть, как своеобразно изменяется сила тока в установке рис. 10, если периодически включать и выключать свет, действующий на селен. Для нас здесь эти подробности не имеют, однако, существенного значения. Нам нужно лишь отчетливо представлять себе различие между внешним и внутренним фотоэффектом. В первом случае электроны вылетают во внешнее пространство, и мы наблюдаем ток, возникающий за счет поглощенной телом световой энергии; во втором случае электроны остаются в теле, и мы наблюдаем только изменение его электропроводности, т. е. изменение силы тока, создаваемого внешней батареей.

ГЛАВА II.

Фотоэлементы.

1. Фотоэлементы, основанные на внешнем фотоэлектрическом эффекте.

Фотоэлементами называются приборы, в которых фотоэлектрический эффект используется для получения электрического тока, сила которого соответствует силе падающего на прибор света. Такие приборы в форме близкой к современной впервые были введены в употребление Эльстером и Гейтелем в 1910 г. и с тех пор получили ряд чрезвычайно важных технических приложений, о которых будет сказано в следующей главе. Здесь мы познакомимся лишь с принципами устройства и действия различных типов фотоэлементов.

По сути дела фотоэлементом является уже простейший прибор, изображенный на рис. 1, но, конечно, в процессе развития пришлось внести в него много усложнений и усовершенствований, чтобы сделать его практически приложимым. В основном можно отметить два принципиальных видоизменения, лежащих в основе конструкции современных фотоэлементов. Это, во-первых, применение „наложенного напряжения“ и, во-вторых, переход от вакуумных фотоэлементов к газонаполненным. Рассмотрим подробней, в чем здесь дело.

В простейшем типе фотоэлемента, схема которого изображена на рис. 12,*а*, пластинки *К* и *А* сами по себе не заряжены; в цепи их нет ни батарей, ни какого-либо иного источника тока. Электроны, вырываемые светом из пластинки *К*, обладают, как мы видели, некоторой собственной скоростью и разлетаются во все стороны по прямым линиям, как показано на рис. 12,*а* стрелками.

Если бы анод *А* был устроен так, что окружал катод со всех сторон, то все эти электроны в конечном счете

падали бы на него [1]). Однако такое расположение оказывается, как мы увидим ниже, практически очень неудобным.

Если же анод не велик, то большая часть электронов пролетит мимо него, и поэтому возникающий фототок будет чрезвычайно слаб. Чтобы обойти это затруднение поступают так. В цепь фотоэлемента включают батарею (рис. 12,*b*), соединяя ее положительный полюс с пластинкой *A*, а отрицательный — с пластинкой *K*. Каждый вылетающий из катода электрон при этом попадает, как говорят, в электрическое поле, т. е. в пространство, где на него действуют силы, притягивающие его к положительному электроду (пластинке *A*) и отталкивающие его от отрицательного электрода *K*. Пути электронов в электрическом поле уже не будут прямыми линиями; они, как видно из рис. 12,*b*, более или менее искривляются, причем, очевидно, тем большая доля вылетающих из освещенного места катода электронов попадет на анод, чем выше напряжение или разность потенциалов между *A* и *K*. Поэтому, если мы при одном и том же освещении будем увеличивать наложенное на *A* и *K* напряжение, то сила тока будет возрастать, т. е. чувствительность фотоэлемента значительно увеличится. Конечно, в конце концов мы достигнем такого положения, когда все возможное количество электронов будет попадать на анод, и тогда уже дальше увеличивать наложенное напряжение нет смысла: ток все равно сильнее не станет. Наглядно это соотношение между величиной напряжения между анодом и катодом, с одной стороны, и чувствительностью фотоэлемента, с другой, — изображено на графике рис. 13. Здесь по горизонтальной оси (так называемой оси абсцисс) отложены значения наложенного напряжения, а по вер-

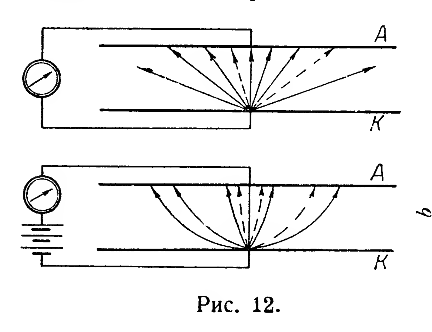


Рис. 12.

[1]) Строго говоря, и в этом случае на анод падали бы не все электроны, а лишь значительная часть их, так как часть электронов задерживалась бы в сосуде молекулами воздуха.

тикальной (оси ординат) — соответствующие значения силы тока на 1 люмен [1]) падающего света. Ход кривой, так называемой вольт-амперной характеристики, изображающей связь между этими величинами, показывает, что сначала, примерно до напряжения в 20—30 вольт, сила тока возрастает по мере увеличения напряжения, а затем, начиная с некоторого значения, она остается постоянной. Этот наиболее сильный ток, который можно получить от данного фотоэлемента при данном освещении, называется **током насыщения**. Величина тока насыщения, как видно из рис. 13, во много раз больше того тока, который можно было бы получить без наложенного напряжения.

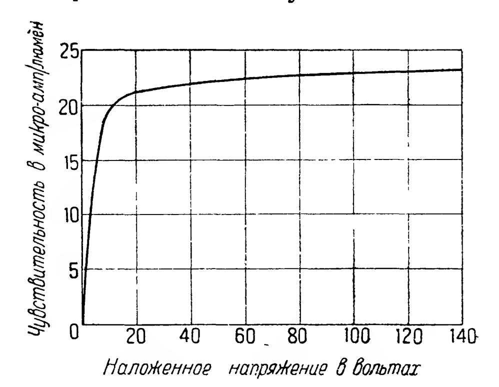


Рис. 13.

Нужно иметь в виду основное, принципиальное различие между фотоэлементом с наложенным напряжением и без него. В фотоэлементе без наложенного напряжения энергия электрического тока возникает за счет энергии света, поглощенного катодом. При этом, как мы увидим ниже, лишь очень небольшая доля поглощенной световой энергии превращается в энергию тока. При применении наложенного напряжения сила тока и, следовательно, его энергия, возрастают во много раз. Но это увеличение происходит не за счет лучшего использования световой энергии, а за счет энергии батареи. Доля световой энергии, превращенной в энергию тока, остается такой же, как раньше. Таким образом, если фотоэлемент без наложенного напряжения можно рассматривать как машину, превращающую световую энергию в электрическую, то относительно фотоэлемента с наложенным напряжением этого сказать нельзя. Ток в нем идет за счет

[1]) Люмен есть единица светового потока. Если представим себе источник света силой в 1 свечу, то количество световой энергии, ежесекундно падающее от него на поверхность в 1 $м^2$, находящуюся на расстоянии в 1 *м*, равно 1 люмену.

энергии химических процессов, происходящих в батарее, но регулируется он интенсивностью света, падающего на катод фотоэлемента. Действительно, ведь первичный акт, т. е. вырывание электронов из поверхности катода, происходит за счет поглощенной световой энергии; наложенное напряжение заставляет только большую или меньшую долю этих электронов попадать на анод. Поэтому, чем сильнее падающий свет, тем больше будет вырванных им электронов и тем сильнее будет ток в фотоэлементе. График на рис. 14 показывает наглядно зависимость между световым потоком, падающим на катод, и силой соответствующего тока насыщения. Вы видите, что в фотоэлементах с наложенным напряжением сохраняется строжайшая пропорциональность между этими величинами.

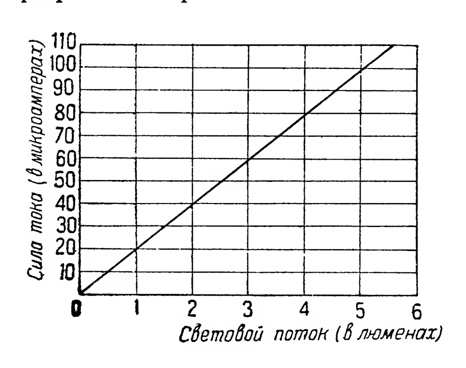


Рис. 14.

В еще большей мере можно увеличить чувствительность фотоэлемента, если содержащий сосуд не откачивать до высокого вакуума, а наполнить подходящим газом при пониженном давлении. При отсутствии наложенного напряжения введение такого газа было бы только вредно, так как в этом случае электроны летят сравнительно медленно, обладают поэтому небольшой энергией и, встречаясь с молекулами газа, они приставали бы к ним или рассеивались бы ими во все стороны вместо того, чтобы попадать на анод. Но когда ускоряющее напряжение наложено и скорость электронов достаточно велика, то картина получается иная. Быстро летящий электрон, ударяясь о молекулу газа, так сказать, разбивает ее на куски, точнее, вышибает из нее электрон. Этот освободившийся электрон под влиянием поля также начинает двигаться к аноду с все возрастающей скоростью. Когда этот электрон, приобретя достаточную энергию, сам сталкивается с молекулой газа, он в свою очередь ионизирует ее, т. е. вышибает из нее новый электрон и т. д. Таким образом, помимо первичных электронов, вырванных светом из

катода, в газе возникает большое количество электронов, освобождающихся при ударе быстро летящих электронов о молекулы газа. Сила тока при этом понятно во много раз возрастает. О степени увеличения чувствительности при наполнении фотоэлемента газом можно судить по графику рис. 15, сходному с рис. 13. Кривая *a* на этом графике относится к рассмотренному выше случаю вакуумного фотоэлемента, а кривая *b* — к случаю газонаполненного фотоэлемента. Мы видим, что в первом случае, начиная примерно с 20—30 вольт, достигается ток насыщения, сила которого равна примерно 10 единицам, а во втором тока насыщения не получается. Чем выше наложенное напряжение, тем сильнее ток в фотоэлементе при том же освещении его; для напряжения в 100 вольт он достигает, например, при тех же условиях 90 единиц. Пропорциональность между силой падающего света, определяющей число первичных электронов, и силой тока сохраняется и в газонаполненных фотоэлементах, хотя и не так точно как в вакуумных.

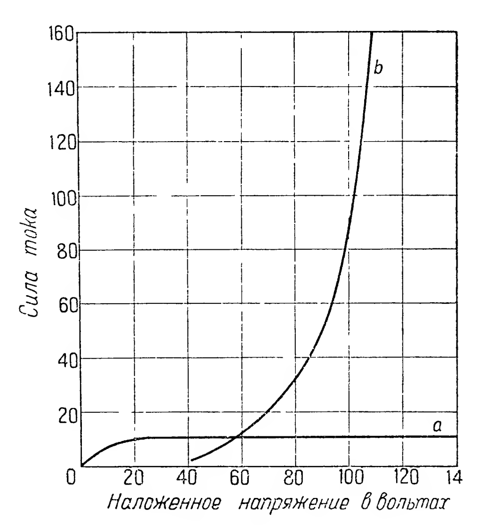


Рис. 15.

Для наполнения фотоэлементов берут газы, которые не действуют химически на катод, так называемые благородные газы: неон, аргон, гелий, криптон и ксенон (чаще всего первые два). Иногда также берут водород. Что касается давления газа в фотоэлементе, т. е. степени его разрежения по сравнению с нормальным атмосферным давлением, то выбор наиболее подходящего давления довольно сложен и определяется рядом технических соображений.

Практически применяемые давления составляют обычно несколько сотых миллиметра ртутного столба, т. е.

в несколько десятков тысяч раз меньше нормального давления воздуха.

В качестве материала для катода применяют чаще всего щелочные металлы: калий, натрий, литий, цезий, рубидий, которые, как мы видели в главе первой, не только обладают наибольшей светочувствительностью, но и имеют селективный максимум в видимой части спектра, т. е. обладают повышенной чувствительностью к зеленым, желтым и красным лучам. Наряду с щелочными металлами иногда применяются и щелочно-земельные: кальций, стронций, барий. Наиболее распространенным материалом для катода являются из первой группы натрий, калий и цезий и из второй — барий.

Для специальных целей подбором того или иного катода можно строить фотоэлементы, которые не реагируют на видимые лучи, но зато чувствительны в той или другой ультрафиолетовой области спектра. Например, фотоэлемент с кадмиевым катодом реагирует только на лучи с длиной волны от 200 до 300 mμ. Такой фотоэлемент, конечно, нужно поместить в кварцевый сосуд или в стеклянный сосуд с кварцевым окошком, потому что стекло непрозрачно для ультрафиолетовых лучей этой области и полностью поглощает их. Для исследований в области очень важных с медицинской точки зрения длин волн — от 280 до 320 mμ были предложены другие фотоэлементы с катодом из металла урана, к фиолетовым и ближайшим ультрафиолетовым лучам особенно чувствительны литий, торий и т. д.

Светочувствительный материал наносится на катод тончайшим слоем. Для увеличения чувствительности поверхность катода обрабатывают различными способами, например: фотоэлемент наполняют водородом при давлении в 2—3 *мм* ртутного столба и, наложив на него напряжение около 300 вольт, в течение нескольких секунд пропускают светящийся электрический разряд. Натриевый катод при этом окрашивается в синевато-фиолетовый цвет, и чувствительность его возрастает раз в сто. Существуют и другие методы такой „сенсибилизации“ катодов (обработка серой, кислородом и др.).

Рассмотрим теперь, как практически устраиваются фотоэлементы.

На рис. 16 изображен схематический разрез, а на рис. 17 изображены фотографии наиболее распространен-

ного типа фотоэлементов, так называемых фотоэлементов с центральным анодом.

Вы видите, что фотоэлемент представляет собой стеклянную колбу, вроде колбы обыкновенной электрической лампочки, почти вся поверхность которой, за исключением небольшого окошка для доступа лучей, покрыта изнутри тонким слоем серебра или магния. На это металлическое зеркало и наносится тончайший слой чувствительного металла. Это — катод. Анод же имеет вид кольца или пластинки, укрепленной на стеклянной ножке в центре лампы. Катод присоединяется к батарее с помощью проволоки, впаянной в особый отросток колбы, а анод — с помощью проводов, впаянных в ножку, на которой он укреплен. В продажных типах ламп, как видно из рис. 17, провода от анода и катода выведены в цоколь фотоэлемента и присоединены к специальным штепсельным ножкам, что очень облегчает включение их в ту или иную установку. В фотоэлементах, выпущенных в продажу Московским Электрозаводом, светочувствительный слой (катод) соединен с зажимом, прикрепленным наверху лампы, а анод присоединен к одной из ножек цоколя, имеющего такой же вид, как цоколь катодной лампы.

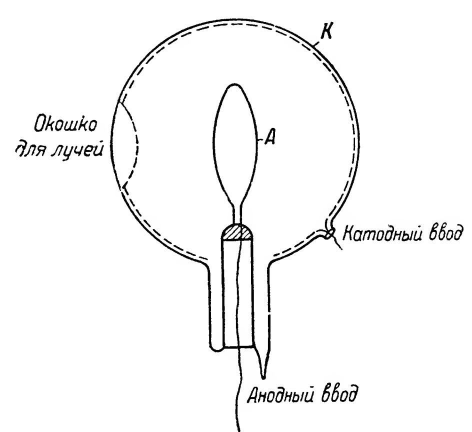
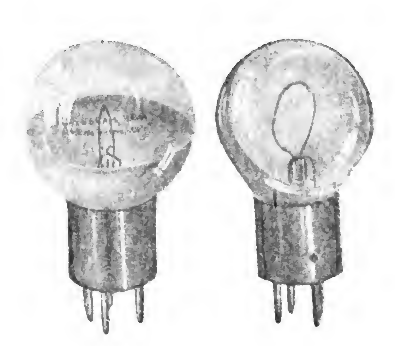


Рис. 16.


Рис. 17.

Фотоэлементы такого типа являются наиболее распространенными, потому что в них используется почти весь свет, проходящий через окошко внутрь прибора. Та часть

его, которая отразится от какого-нибудь места катода и не будет использована, попадает на другое место и вырывает электроны там; свет, отраженный и во втором

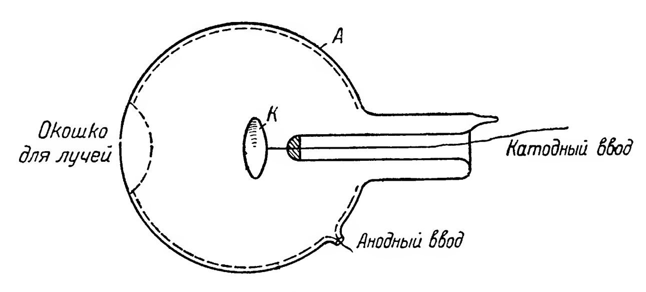


Рис. 18.

месте, сделает свое дело где-нибудь в третьем и т. д. Из лучей, прошедших внутрь прибора, наружу может выйти лишь ничтожная часть.

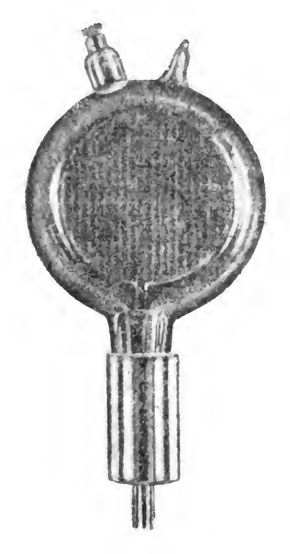


Рис 19.

Значительно реже применяются фотоэлементы с центральным катодом. Схематический разрез такого прибора изображен на рис. 18. По внешнему виду он мало отличается от фотоэлемента с центральным анодом. Разница между ними в том, что металлический слой, покрывающий изнутри колбу, служит анодом, а катод нанесен в виде тончайшей пленки на небольшую пластинку, укрепленную в центре колбы. Преимущества такого расположения в том, что ток насыщения достигается при очень низком наложенном напряжении, а недостаток его — в значительно худшем использовании попадающего в прибор света, лишь часть которого действует на катод, попадая на него непосредственно или после отражения от стенки сосуда.

Наконец, отметим еще применяющиеся иногда фотоэлементы, в которых оба электрода имеют вид плоскопараллельных пластин. Катод делается сплошным, а анод — в виде сетки из платиновой или никелевой проволоки

для того, чтобы свет мог проходить сквозь него к катоду. Такой фотоэлемент изображен на рис. 19.

Чувствительность хороших современных фотоэлементов достигает нескольких десятитысячных ампера на люмен падающей световой энергии. Чтобы сделать эту цифру более наглядной, укажем, что если, например, фотоэлемент, изображенный на рис. 19, освещать лампой в 100 свечей на расстоянии в 1 *м*, то в цепи пойдет ток силой в несколько стотысячных ампера. Чувствительность фотоэлементов без наложенного напряжения значительно ниже и не превышает одной десятимиллионной ампера на люмен.

2. Фотоэлементы с внутренним фотоэлектрическим эффектом (фотосопротивления).

В главе первой мы говорили, что внутренний фотоэлектрический эффект проявляется в изменении способности вещества проводить электрический ток. Некоторые вещества, например селен, в темноте почти совершенно не проводят тока (обладают огромным удельным сопротивлением), а под влиянием освещения значительно улучшают свои проводящие свойства (сопротивление их уменьшается). Поэтому, если в цепь батареи включить, как показано на рис. 10, такое вещество, то сила тока, циркулирующего в цепи, будет возрастать при освещении этого вещества. При этом сила тока возрастает по мере усиления освещения, но строгой пропорциональности между силой тока и силой света, как в случае описанных выше фотоэлементов, здесь нет. Нужно иметь в виду, что в этом случае, как и в случае фотоэлементов с наложенным напряжением, энергия тока создается не за счет световой энергии, а за счет батареи. Сила света только изменяет сопротивление и регулирует силу тока, создаваемого батареей.

Схема, изображенная на рис. 10, является схемой простейшего фотоэлемента с внутренним фотоэлектрическим эффектом. При техническом осуществлении таких элементов стремятся получить возможно малое нормальное (темновое) сопротивление элемента (в обычных типах от десяти тысяч до десяти миллионов ом), а так как сам селен обладает очень большим удельным сопротивлением, то приходится электроды помещать очень близко друг к другу (от 0,1 до 0,01 *мм*) и брать их с возможно

большей площадью. С другой стороны и для увеличения чувствительности элемента нужна возможно большая площадь в виде очень тонкого слоя (толщиной около 0,01 *мм*).

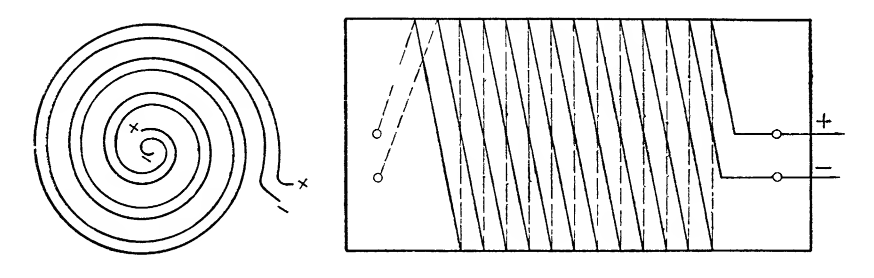


Рис. 20. Рис. 21.

Обоим этим требованиям можно удовлетворить, если, например, взять электроды в виде двух спиральных проволок (рис. 20), промежуток между которыми заполнен светочувствительным веществом.

Так построен, например, изображенный на рис. 21 и 22 селеновый фотоэлемент. На изолирующей дощечке (из стекла, фарфора, слюды и т. п.) намотаны рядом две проволочных спирали; отдельные проволоки их расположены очень близко друг к другу, и из каждых двух рядом лежащих проволок одна всегда принадлежит первой, а другая — второй спирали. Одну из этих спиралей присоединяют к положительному, другую — к отрицательному полюсу батареи. На пластинку наносят тонкий слой селена, заполняющий все промежутки между проводами.



Рис. 22.

Различные конструкторы предлагали и другие видоизменения селеновых элементов, основанные на том же принципе. Из них в последнее время особенно часто применяются так называемые „гравированные“ фотоэлементы, которые готовятся следующим образом. Стеклянная пластинка *a* покрывается воском, на поверхности которого прорезывают с помощью делительной машины две системы линий *b* и *c*, входящих друг в друга, как

две гребенки (рис. 23). Длина каждой линии примерно 1 *см*, а расстояние между ними около 0,1 *мм*. Затем всю пластинку травят кислотой, которая не действует на места, защищенные воском, и выедает небольшие желобки в тех местах, где воск был прорезан. Эти желобки заполняют каким-нибудь проводником (золотом, платиной, графитом и т. п.) и наносят на всю пластинку тонкий слой селена или иного светочувствительного вещества.

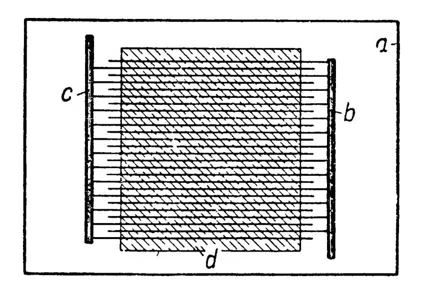


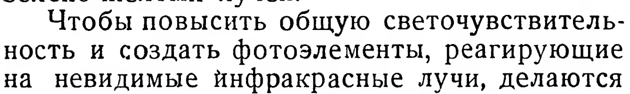
Рис. 23.

После нанесения на фотоэлемент селена его „формируют“, т. е. подвергают в течение нескольких дней нагреванию примерно до 200 градусов. Селен переходит при этом в серую кристаллическую форму, в которой он светочувствителен. После этого готовый фотоэлемент помещают обычно для защиты от всяких вредных влияний в стеклянную колбу, воздух из которой откачан или заменен благородным газом. Такой фотоэлемент вы можете видеть на рис. 24.



Рис. 24.

Селеновые фотоэлементы чувствительны к видимым световым лучам всех цветов, т. е. к длинам волн приблизительно от 400 до 700 mμ, хотя и не в одинаковой степени. Чувствительность их возрастает для коротких волн — синих и фиолетовых лучей, с одной стороны, и для длинных — красных, с другой, и несколько уменьшается для средних волн — зелено-желтых лучей.



Чтобы повысить общую светочувствительность и создать фотоэлементы, реагирующие на невидимые инфракрасные лучи, делаются довольно успешные попытки замены селена другими светочувствительными веществами. Например, немецкая фирма Телефункен выпускает фотоэлементы, в которых к селену добавлено от 7 до 15% близкого к нему элемента теллура. Американский изобретатель Кейс предложил так называемые таллофидные фотоэлементы, в ко-

торых светочувствительным веществом является сернисто-кислородное соединение элемента таллия. Наибольшей чувствительностью эти фотоэлементы обладают для длины волны в один микрон (1 μ), т. е. для волн, лежащих уже в невидимой, инфракрасной, части спектра.

3. Вентильные фотоэлементы, или фотоэлементы с „запирающим слоем".

В последние годы (1926) техника обогатилась совершенно новым типом фотоэлементов. В конечном счете в них тоже мы имеем дело с внешним фотоэлектрическим эффектом, но вырывание электронов происходит в пограничном слое между поверхностью проводника (меди Cu) и полупроводника (закиси меди Cu_2O). Этот пограничный слой обладает рядом весьма замечательных свойств. Всякий радиолюбитель знает, что такое детектор. Это — небольшой прибор, применяемый в простейших радиоприемниках для выпрямления переменного тока, возникающего в антенне. Он представляет собой заключенный в металлическую чашечку кусок кристалла (галена и др.), на который опирается острием металлическая пружинка. Подводимый к детектору часто-переменный ток от антенны проходит только в одном направлении (от металла к кристаллу). Такими же свойствами обладает слой закиси меди, полученный на медной пластинке. При наращивании такого слоя закиси меди на медь, которое производится при высокой температуре, между медью и закисью меди образуется очень тонкая пленка вещества, обладающего очень дурной проводимостью. Толщина этого так называемого „запирающего слоя" весьма мала (от одной стотысячной до одной миллионной сантиметра), а химическая природа его еще не является окончательно установленной, но наличие этого слоя играет чрезвычайно важную роль во всех процессах прохождения тока через такого рода системы. В разрезе, следовательно, рассматриваемая система имеет вид, изображенный схематически на рис. 25. На медной пластинке лежит „запирающий слой" Q, на нем — слой закиси меди и поверх

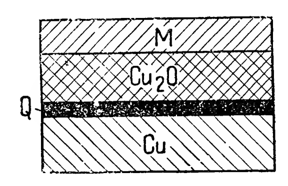


Рис. 25.

него—пластинка из какого-нибудь металла M, служащая для подвода тока. Если такую систему приключить к батарее, как показано на рис. 26*a*, т. е. так, чтобы медь была соединена с отрицательным электродом батареи, а закись меди с положительным электродом, то в цепи пройдет довольно сильный ток; в этом направлении пограничный слой представляет небольшое сопротивление. Но если мы переключим провода, как показано на рис. 26*b*, т. е. сделаем медь анодом, а закись меди катодом, то ток в цепи ослабеет в сотни раз или практически прекратится; сопротивление в этом направлении гораздо больше. Таким образом мы должны представить себе, что на границе медь — закись меди „запирающий слой" дает возможность электронам проходить только в направлении от меди к закиси меди ($Cu \rightarrow Cu_2O$) и не пропускает их в обратном направлении. На этом основано применение этой системы (купроксидного выпрямителя) для превращения переменного тока в постоянный.

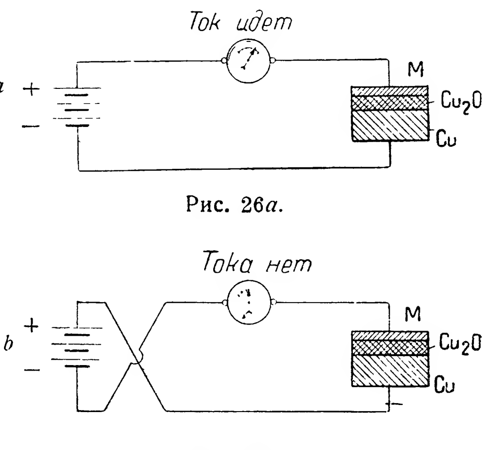


Рис. 26*a*.

Рис. 26*b*.

Купроксидный выпрямитель не является единственной системой такого рода, известны и другие аналогичные твердые выпрямители. Все они состоят из такого ряда слоев: металл — запирающий слой — полупроводник с электронной проводимостью — металл.

Если теперь всю систему медь — закись меди совсем не приключать к батарее и подвергнуть ее действию света (рис. 27, см. на стр. 42), то оказывается, что за счет поглощенной в „запирающем слое" световой энергии в цепи возникает фототок. Конечно, при этом нужно обеспечить свету возможность проникнуть к запирающему слою.

Направление возникающего тока обратно тому направлению, в котором данная система пропускает внешний

ток, т. е. вырываемые светом фотоэлектроны проходят через слой полупроводника в направлении от закиси меди

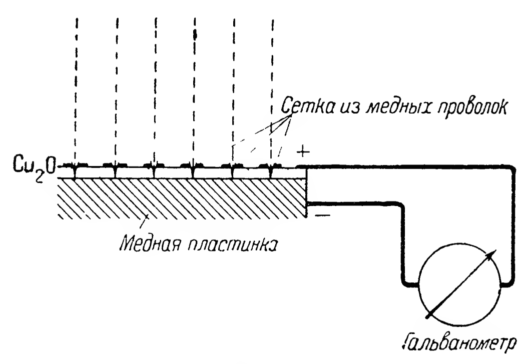


Рис. 27.

к меди ($Cu_2O \rightarrow Cu$). Сила возникающего фототока строго пропорциональна силе падающего на элемент света.



Рис. 28.

Схема, изображенная на рис. 27, и есть схема так называемого купроксидного фотоэлемента, или, коротко, купроксида. Вы видите, что устройство его необычайно просто. На толстой медной пластинке наращивают тончайшую пленку закиси меди, и по сути дела фотоэлемент готов. Слой закиси меди делают чрезвычайно тонким, чтобы он был прозрачен и пропускал возможно больше света к „запирающему“ пограничному слою. Для включения в цепь к поверхности закиси меди прижимают стеклянной пластинкой проволочную сетку или наносят на нее тончайшую медную пленку. На рис. 28 вы можете видеть фотографии технически применяющихся купроксидов.

Описанные „купроксиды“ называются часто „заднестеночными“ или фотоэлементами с тыловым эффектом, потому что в них светочувствительный слой лежит у задней стенки закиси меди. В них, как видим, медная пластинка является катодом (отрицательным полюсом), а

лежащая на слое Cu_2O медная сетка — анодом (положительным полюсом). Наряду с ними широко применяются и „переднестеночные" купроксиды (фотоэлементы с фрон-

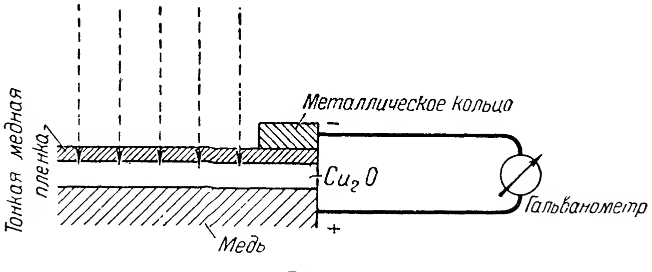


Рис. 29.

товым эффектом), схема устройства которых ясна из рис. 29. На медной пластинке лежит сравнительно толстый слой закиси меди, на который нанесена тончайшая прозрачная пленка меди. Светочувствительным здесь является запирающий слой, лежащий между этой пленкой и передней стенкой закиси меди. К заднему пограничному слою свет вообще не проходит, так как он поглощается в толще закиси меди. Здесь, как видно из рис. 29, медная пластинка становится анодом, а верхняя металлическая пленка — катодом.

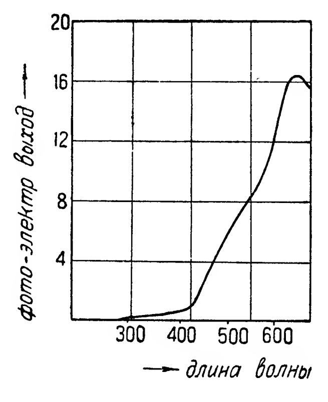


Рис. 30.

Купроксиды чувствительны главным образом к красным и невидимым тепловым (инфракрасным) лучам с длиной волны до 1,4 μ, т. е. как раз к тем лучам, которых особенно много в составе обычного белого света. На рис. 30 показано спектральное распределение чувствительности этих фотоэлементов. Общая чувствительность их очень высока и не уступает чувствительности лучших щелочных газонаполненных фотоэлементов с наложенным напряжением. Она достигает 500 микроампер, т. е. пяти десятитысячных долей ампера $(5 \cdot 10^{-4})$ на люмен падающего светового потока. Эта высокая чувстви-

тельность при строгой пропорциональности между силой тока и световой энергией и при необычайной простоте устройства обеспечивает купроксидам самое широкое распространение в различных технических применениях фотоэлементов. Недостатком их, над устранением которого сейчас усиленно работают, с одной стороны, является недостаточная устойчивость их, а с другой стороны трудность усиления возникающих в них фототоков. В то время как щелочные фотоэлементы сохраняют все свои свойства неизменными на протяжении многих месяцев и лет, купроксиды с течением времени изменяют свою чувствительность, которая к тому же еще довольно сильно зависит от внешних условий (температуры и т. п.). По устранении этих недостатков купроксиды явятся, несомненно, мощным конкурентом щелочным фотоэлементам.

Купроксиды дают возможность всерьез поставить вопрос о таком применении фотоэлементов, которое в случае, если бы его удалось осуществить, начало бы новую эпоху в жизни всего человечества. Мы видели, что в купроксидах, как и в фотоэлементах без наложенного напряжения, происходит непосредственное превращение световой энергии в электрическую. При этом, однако, купроксиды дают ток, в тысячу раз более сильный. Спрашивается, нельзя ли поставить вопрос о непосредственном превращении с помощью фотоэлементов энергии солнечных лучей в электрическую в промышленном масштабе? Ведь по существу дела все применяемые нами источники энергии дают нам лишь возможность использовать часть энергии, доставляемой солнечными лучами. Когда мы, например, сжигаем уголь в топке паровоза или электростанции, то мы освобождаем и превращаем в нужную нам форму часть той энергии солнечных лучей, которая в давно прошедшие геологические эпохи была запасена растениями. За счет этой энергии в растениях происходил ряд химических процессов (так называемых процессов фотосинтеза), в результате которых образовались вещества с большим запасом скрытой (потенциальной) энергии. Прошли тысячелетия, растения эти превратились в уголь, и, сжигая его, мы освобождаем именно эту запасенную солнечную энергию. Точно так же, устанавливая турбины какой-нибудь гидроэлектрической станции, вроде Днепрогэса, мы используем в конечном

счете ту энергию солнечных лучей, которая заставляет испаряться воду морей и океанов, поднимает ее вверх и питает влагой реки, поддерживая в них расход воды.

Вместо всего этого нельзя ли с помощью фотоэлементов непосредственно превращать энергию солнечных лучей в электрическую? Принципиально это, конечно, возможно. На рис. 31 вы видите слева небольшой купроксид площадью в 49 *см*², который за счет энергии солнеч-

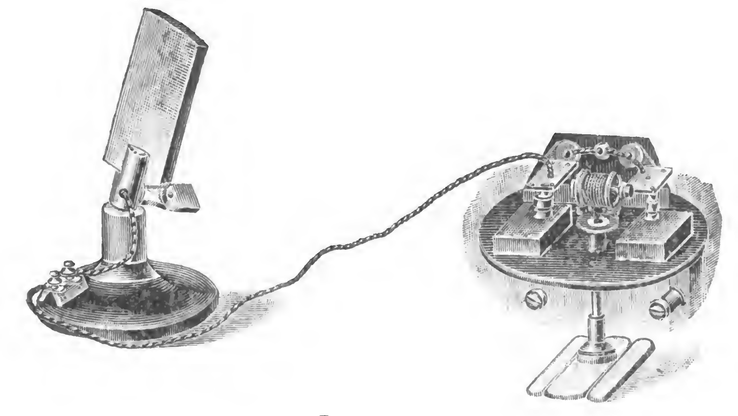


Рис. 31.

ных лучей приводит в движение маленький мотор (в правой части рисунка). Но технически и экономически такие установки в большом масштабе сегодня еще не выгодны. Слишком мал коэфициент полезного действия, т. е. слишком мала та доля солнечной энергии, которая в такой установке может быть использована. Но ведь фотоэлементы находятся только в самом начале пути своего развития, и вопрос об их применении в качестве возможных генераторов (добытчиков) энергии только ставится. И, кто знает, быть может, то, что сегодня является фантазией, утопией, станет технической реальностью завтра, и тогда трудно даже представить себе те беспредельные возможности, которые откроются перед нашим строительством.

ГЛАВА III.

Применение фотоэлемента в технике.

1. Звуковое кино.

Из ряда очень разнообразных применений фотоэлемента в различных областях техники важнейшим в настоящее время является применение его в звуковом кино. Достаточно указать, что первая звуковая кинофильма демонстрировалась лишь в 1923 г., а уже к концу 1931 г. во всем мире насчитывалось около 20 000 кинотеатров, оборудованных для демонстрации звуковых фильм. Так как в большинстве из этих театров имеется по два проекционных аппарата, то, следовательно, к этому моменту в постоянной эксплоатации имелось около 40 000 фотоэлементов. Фотоэлемент перешагнул уже, таким образом, через стены лаборатории и стал предметом массового фабричного производства и широкого применения.

Чтобы разобраться в том, как записывается и воспроизводится звук в звуковом кино, нужно прежде всего отдать себе отчет в том, что такое звук и как он распространяется в воздухе или иной среде. Ряд простых опытов показывает, что звук есть волнообразное распространение колебаний частиц воздуха или иной материальной среды, в которой звук распространяется. Всякое звучащее тело: струна, столб воздуха в духовом музыкальном инструменте и т. п., совершает очень быстрые колебания. В этом можно легко убедиться, если поднести к издающему сильный звук предмету, например металлическому листу, подвешенный на нитке легкий предмет — пробковый шарик. Шарик этот будет отскакивать от поверхности звучащего металла, наглядно обнаруживая его колебания. Еще проще можно обнаружить колебания звучащего тела, если под руками имеется камертон. Так называется особой формы металлическая вилка, издающая при ударе определенный чистый музыкальный тон (рис. 32). Если заставить камертон звучать и приложить его к губе или к зубу, то можно ощу-

тить его дрожания. Такие колебания совершает и всякое иное звучащее тело. Эти колебания передаются в окружающую среду и заставляют его частицы совершать такие же колебания, какие совершают частицы звучащего тела.

Если бы вы могли видеть отдельную частицу воздуха в то время как в нем распространяются звуки, вы увидели бы, что она совершает очень быстрое и сложное колебательное движение около своего нормального положения. При этом частица не удаляется на большое расстояние от своего среднего положения, а движется лишь немного взад и вперед по тому направлению, в котором распространяется звук. Каждая частица, начав двигаться, приводит в движение своих соседей, и постепенно все более и более далекие частицы вовлекаются в это движение; при этом, так как не все частицы, конечно, начинают свое движение одновременно, то в каждый момент движение разных частиц будет различно. В то время как одни частицы дойдут до своего крайнего положения, другие будут проходить через свое среднее, нормальное, положение, третьи будут где-нибудь посредине и т. д. В воздухе возникнет при этом на совершенно одинаковых расстояниях друг от друга по направлению распространения звука ряд мест, где частицы более близки друг к другу, т. е. где воздух сжат. С этими местами чередуются другие, где воздух разрежен, частицы его отодвинуты одна от другой. Эта картина наглядно изображена на рис. 33, представляющем собой как бы „моментальную фотографию“ воздуха, в котором распространяется звук. Эта система распространяющихся в пространстве сжатий и разрежений, возникающих в результате колебательных движений отдельных частиц, носит название **звуковой волны**, а расстояние между двумя местами наибольшего сжатия или наибольшего разрежения называется **длиной волны**.

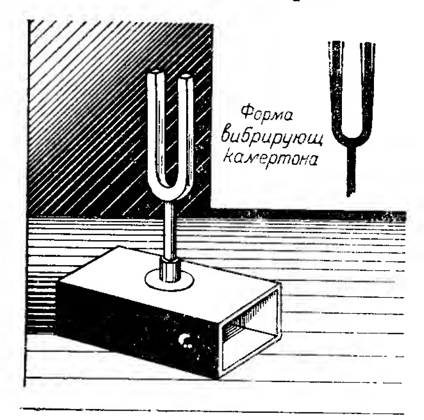


Рис. 32.

В каждой точке пространства состояние воздуха не остается все время одним и тем же, а меняется, периодически повторяясь через определенные промежутки времени. Там, где было сжатие, спустя какую-нибудь тысячную долю секунды будет разрежение, затем, через такой же промежуток времени — снова сжатие и т. д. Таким образом, если мы рассматриваем какую-нибудь одну точку пространства, то в ней волна обнаружится как периодическое (повторяющееся) изменение во времени плотности воздуха. Напротив, если мы станем рассматривать все пространство в один какой-нибудь определенный момент времени, то увидим картину, изображенную на рис. 33, т. е. увидим, что каждое состояние (сжатие или разрежение) периодически повторяется на равных расстояниях. Эта двойная пространственно-временная периодичность и составляет основное отличительное свойство всякого волнового движения, в том числе и звуковой волны.



Рис. 33.

Процесс распространения волны, т. е. процесс вовлечения в колебание все новых и новых частиц воздуха, идет с некоторой определенной скоростью, которая и представляет собой скорость звука. При нормальных условиях эта скорость составляет около 330 *м* в секунду. Таким образом к концу первой секунды после того как тело начало звучать колеблются все частицы воздуха в пространстве с радиусом в 330 *м* вокруг звучащего тела, к концу второй секунды колебанием охвачены уже все частицы на расстоянии 660 *м* от него и т. д. Нужно только всегда иметь в виду, что скорость звука — это скорость распространения звуковой волны, а не скорость движения отдельных колеблющихся частиц [1]).

---

[1]) Зная скорость распространения звука и его частоту, легко вычислить длину соответствующей звуковой волны. Так как за то время, пока частица совершает одно полное колебание вперед и назад, волна распространяется на расстояние одной своей длины, то легко сообразить, что скорость звука равна длине волны, умноженной на ее частоту. Таким образом звуки речи и музыки соответствуют волнам длиной примерно от 2 *см* до 10 *м*.

Когда звуковая волна доходит до нашего уха, она заставляет имеющуюся в ухе особую пленку, так называемую барабанную перепонку, совершать колебания с такой же частотой, с какой колеблется звучащее тело, образующее волны в среде между ухом и звучащим телом, и эти колебания мы воспринимаем в виде звука.

Во всем бесконечном разнообразии окружающих нас звуков мы можем выделить три основных признака, по которым отличаются друг от друга звуки. Прежде всего мы различаем звуки по их силе: один и тот же звук может быть тихим или громким. Далее, мы различаем звуки различной высоты: звук может быть высоким, дискантовым, или низким, басовым. И, наконец, даже звуки одной и той же высоты и силы, но взятые, например, на различных инструментах или спетые различными голосами, различаются по тембру, по оттенку, который позволяет выделить знакомый голос из тысячи других.

Каждому из этих свойств звука соответствует особое свойство звуковых колебаний. Сила звука определяется амплитудой, или размахом колебания каждой отдельной частицы, т. е. расстоянием между крайними ее положениями при отклонении в ту или другую сторону. Высота звука определяется частотой этих колебаний, т. е. числом полных качаний каждой частицы в течение одной секунды. Число этих качаний относительно велико и колеблется для разных звуков в довольно широких пределах. Например, частота, соответствующая нормальному тону „ля", по которому настраиваются музыкальные инструменты, соответствует 435 колебаниям в секунду. В нормальной речи и музыке мы имеем дело с частотами от 50 до 10 000 колебаний в секунду. Вообще же человеческое ухо способно воспринимать в виде звука колебания с частотой от 16 до 20—30 тысяч в секунду.

Наконец, тембр звука определяется формой волнообразного движения, т. е. тем, как именно движется взад и вперед каждая частица воздуха. В бóльшие подробности мы здесь к сожалению входить не можем [1]).

---

[1]) Читателю, который захотел бы подробнее познакомиться с учением о звуке, мы рекомендуем превосходную и очень легкую книжку Брэгг, Мир звука, М.—Л., 1927. Несколько труднее другая, также очень интересная, книжка: Флеминг, Волны в воде, воздухе и эфире, М.—Л., 1926. Для более серьезного и систематического изучения можно рекомендовать книгу Поль, Введение в механику и акустику, М., 1932.

Зная, что сила звука определяется амплитудой (размахом) колебаний частиц воздуха, мы легко поймем, почему звук слабеет по мере того, как мы удаляемся от звучащего тела. Ведь по мере того, как звук распространяется на все большее и большее расстояние, энергия звучащего тела распределяется на все большее число частиц. Ясно, что на долю каждой отдельной частицы приходится тем меньшее количество энергии, чем дальше она находится от источника звука. Поэтому амплитуды колебаний отдельных частиц постепенно затухают по мере удаления от источника, и звук становится все слабее. Практически уже на расстоянии нескольких сот метров колебания, создаваемые самым сильным человеческим голосом, слабеют настолько, что звук становится едва слышным.

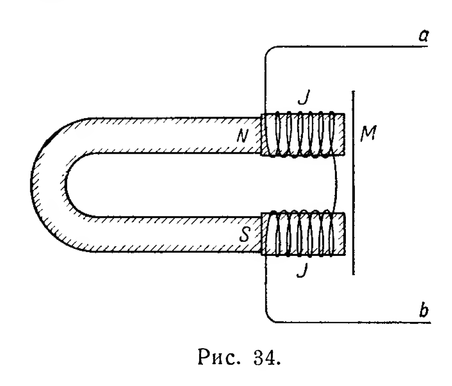


Рис. 34.

Вы знаете, однако, что наука нашла способы преодолеть это затруднение и передавать человеческую речь на огромные расстояния. Сидя у себя в комнате и сняв телефонную трубку, вы можете слышать голос товарища, живущего за тысячи километров, почти так же отчетливо, как если бы он был рядом с вами. Для осуществления этого „чуда" нужно было превратить быстро затухающие колебания частиц воздуха в колебания иного рода, в колебания силы электрического тока, которые можно передавать на очень большие расстояния почти без затухания.

Остановимся несколько подробнее на принципе устройства телефона, так как это подведет нас к пониманию процессов, происходящих в звуковом кино и в ряде других приборов.

Схематически устройство телефона (старого типа) изображено на рис. 34. Здесь имеется подковообразный магнит с полюсами N и S, на которые надета проволочная катушка *J*. Перед магнитом укреплена мембрана *M*, представляющая собой упругую железную пластинку. Когда вы говорите или поете перед мембраной,

то на нее падают звуковые волны, которые раскачивают мембрану, заставляя ее то приближаться к магниту, то удаляться от него. При каждом таком движении изменяется намагниченность магнита NS, и в катушке возникает индуцированный электрический ток. Ток этот не будет оставаться постоянным ни по силе ни по направлению. Напротив, он будет течь то в одном направлении, то в противоположном, становясь сильнее или слабее в зависимости от того, какая волна падала на мембрану. Колебания силы электрического тока точно воспроизводят колебания частиц в звуковой волне. В том, что такие переменные токи действительно возникают, можно убедиться, соединив, как показано на рис. 35 (см. на стр. 52), концы проводов катушки телефона с чувствительным прибором для измерения силы тока. Если начать петь перед мембраной, то прибор сейчас же покажет, что в цепи идет ток силой в среднем около 0,0001 ампера.

Можно направить эти провода в более или менее удаленное место и там присоединить их к катушке другого такого же телефона. Тогда колеблющийся по силе ток, возбужденный в катушках первого телефона, будет намагничивать магнит второго телефона то сильнее, то слабее, и мембрана будет то притягиваться к магниту, то отходить от него. Эти колебания мембраны будут передаваться в окружающее пространство в виде звуковой волны, и так как колебания силы тока строго соответствуют колебаниям первоначальной звуковой волны, то мы услышим тот же звук, какой был произнесен перед телефоном.

Таким образом принцип действия телефона действительно заключается в том, что в передающем аппарате звуковые колебания превращаются в колебания силы тока, которые передаются по проводам и в принимающем аппарате преобразуются снова в звуковые колебания. Аналогичен и принцип передачи звука по радио. Здесь только передача колебаний силы тока происходит не по проводам, а через посредство особых электромагнитных волн или радиоволн.

В описанном телефоне старого типа, как мы видели, ток создается за счет энергии движения мембраны и потому он очень слаб. Поэтому в современных телефонах (в передающей части) имеется особое устройство, так называемый микрофон, который необычайно увеличивает

чувствительность телефона. Действие его заключается в том что он дает возможность не создавать телефонный ток, а лишь изменять сообразно колебаниям мембраны ранее существовавший более сильный ток. Действие микрофона становится ясным из рис. 36. Мембрана *B* включена здесь в цепь с батареей и микрофоном *A*, состоящим из коробки с угольным порошком, соприкасающимся с мембраной. Так как всякое тело более или менее шероховато, то „тесное" соприкосновение зернышек угля имеет место не по всей их поверхности, а лишь в отдельных точках. Только эти точки, где зернышки сближены на расстояние примерно в одну стомиллионную долю сантиметра (10^{-8} *см*), являются мостиками, через которые может проходить ток. Через остальные же места, где расстояние между зернышками больше, ток не идет. Хотя число этих „мостиков" довольно велико, но так как уголь сам по себе является не очень хорошим проводником тока, то сопротивление микрофона довольно значительно. Когда мембрана, колеблясь, сжимает угольный порошок, число „мостиков" увеличивается, и ток становится сильнее; когда она отходит назад, ток слабеет. Таким образом здесь ток создается батареей, а не движениями мембраны,—последние только изменяют его силу в ритме звуковых колебаний.

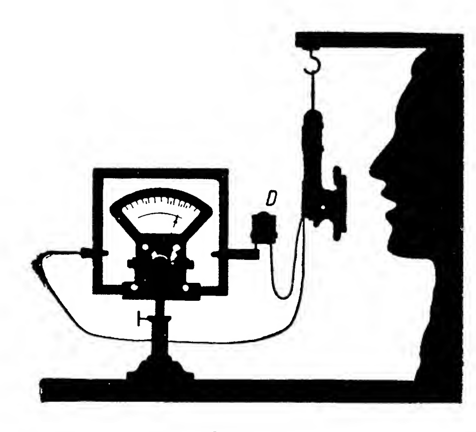


Рис. 35.

Теперь мы уже владеем всем необходимым для понимания принципа звукового кино. Старая пословица говорит: „слово что воробей: вылетит, не поймаешь". Как и многие другие пословицы, воплотившие в себе житейский опыт наших дедов, эта пословица потеряла силу в наши дни. Слово можно „поймать", закрепить его, припечатать и, когда нужно, воспроизвести. Для этого нужно только в ту цепь различных преобразований одних колебаний в другие, какую мы рассматривали в телефоне,

включить еще одно звено. Нужно колебания звуковые и колебания силы тока превратить в такие колебания, которые можно было бы как-то закрепить.

Такими колебаниями являются обычно колебания силы света.

Вы знаете, конечно, что когда пучок световых лучей падает на пластинку или целлулоидную пленку, покрытую светочувствительной бромо-желатиновой эмульсией, то соответствующее место пластинки чернеет, притом темнеет тем в большей степени, чем сильнее свет или чем дольше он действовал на пластинку.

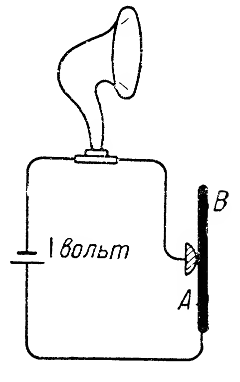


Рис. 36.

Задача „фотографирования“ звука сводится, следовательно, к тому, чтобы сначала превратить с помощью микрофона звуковые колебания в колебания силы тока, а затем эти последние — в колебания силы света или количества световой энергии, падающей на светочувствительную пленку.

Различные изобретатели подошли к этой задаче по-разному. В первой по времени системе „Три-Эргон“ (немецких изобретателей Фохта, Энгля и Массоле) переменный ток от микрофона усиливался во много раз обычными в радиотехнике усилителями с катодными лампами и подавался к особой лампе. В этой лампе светится под влиянием электрического разряда газ. Сила света такой лампы изменяется в строгом соответствии с силой тока в ее цепи. Поэтому в те моменты, когда микрофонный ток усиливается, лампа горит ярче, и, наоборот, когда этот ток слабеет, свет лампы уменьшается. Лампа освещает небольшую щель, изображение которой в уменьшенном виде отбрасывается системой линз (объективом) на движущуюся кинематографическую пленку. Понятно, что на пленке возникает ряд черточек одинаковой длины, но различного почернения. Колебания прозрачности этих черточек воспроизводят колебания силы света, соответствующие колебаниям силы тока, которые в свою очередь воспроизводят звуковые колебания. Это и есть „фонограмма“ — фотографическая запись звука. На рис. 37 (см. на стр. 54), изображающем кусок звуковой кино-

фильмы, снятой по этому способу, вы можете видеть эту фонограмму слева от фотографии актеров.

Нужно иметь в виду, что хотя фильма имеет именно такой вид, т. е. фотография звуков помещена рядом с обычной „немой" фотографией, но при съемке, по ряду технических соображений, снимают отдельно на одной фильме звук и отдельно — в другом аппарате и на другой фильме — „немую" фотографию. Лишь позже, при изготовлении копий (позитивов) для демонстрации, впечатывают фотографию звука рядом с немой фотографией на один кусок пленки.



Рис. 37.

При этом, понятно, необходимо позаботиться о полной „синхронизации" звуковой и немой съемки, т. е. о том, чтобы каждому немому кадру (так называется каждый отдельный кусок фильмы со снятым изображением) соответствовали те части звуковой записи, которые соответствуют изображаемому моменту. Ведь вряд ли вам доставило бы особое удовольствие сначала полюбоваться лицом героя, а затем через несколько секунд, когда на экране уже изображено нечто совсем другое, услышать его слова.

Эта синхронизация достигается тем, что оба аппарата — звуковой и обычный кинематографический — приводятся в движение моторами, которые питаются одним и тем же током. Звукооператор включает одновременно оба мотора, а конструкция мотора обеспечивает одинаковую скорость движения обеих фильм (24 кадра в секунду).

Другие изобретатели сначала изменяли систему „Три-Эргон" в деталях, заменяя лампу, которая применялась в этой системе, другими конструкциями и совершенствуя аппаратуру. Позже были сделаны попытки изменить систему „Три-Эргон" довольно существенно. Вместо того чтобы брать лампу переменной яркости, в этих системах

применяют лампу, горящую совершенно ровным постоянным светом, но пучок лучей, идущий от этой лампы, пропускают через особый прибор, так называемый конденсатор Керра, который имеет способность ослаблять проходящий через него свет в большей или меньшей мере в зависимости от силы тока, подводимого к этому прибору. Понимание устройства конденсатора Керра требует знакомства с довольно сложными оптическими явлениями, и поэтому описывать конденсатор Керра мы здесь не будем. В конце концов для нас важно только то, что, подводя ток от микрофона (конечно, тоже усиленный во много раз) к этому прибору, мы получаем такой же пучок лучей переменной яркости, как и действуя этим током непосредственно на лампу в способе „Три-Эргон“. Ряд технических преимуществ заставляет изменять не силу лампы, а „прозрачность“ конденсатора Керра, но и в том и в другом случае мы получаем на движущейся кинематографической пленке ряд черточек одинаковой длины, но различного почернения, причем градации этого почернения соответствуют силе микрофонного тока, т. е. в конечном счете воспроизводят звуковые колебания. На применении конденсатора Керра основана система „Клянгфильм“, разработанная в Германии Каролюсом. В этом же направлении работают советские изобретатели: П. Г. Тагер, И. С. Джигит и А. А. Шишов.

Наряду с этими системами широкое распространение получили другие системы, основанные на несколько отличном принципе. В них изменяют не степень прозрачности отдельных черточек, „изображающих“ звук, а длину этих черточек. Такова, например, советская система А. Ф. Шорина, по которой снимается большинство советских звуковых фильм. Идея здесь также очень проста. Представьте себе равномерно освещенную щель, изображение которой проектируется на фотографическую пластинку. На пластинке получится, конечно, равномерная черная полоска определенной длины. Если бы мы закрыли какой-нибудь заслонкой часть щели, скажем половину ее, то полоска, конечно, получилась бы такой же черноты, но более короткая, в нашем примере вдвое. Теперь ясно, что если бы мы заставили заслонку колебаться перед щелью взад и вперед в соответствии с колебаниями силы тока в микрофоне, то мы получили бы на движущейся пленке ряд полосок различной длины,

причем колебания их длины, соответствовали бы колебаниям силы тока, т. е. в конечном счете соответствовали бы звуковым колебаниям.

Как разрешил эту задачу А. Ф. Шорин ясно из рис. 38.

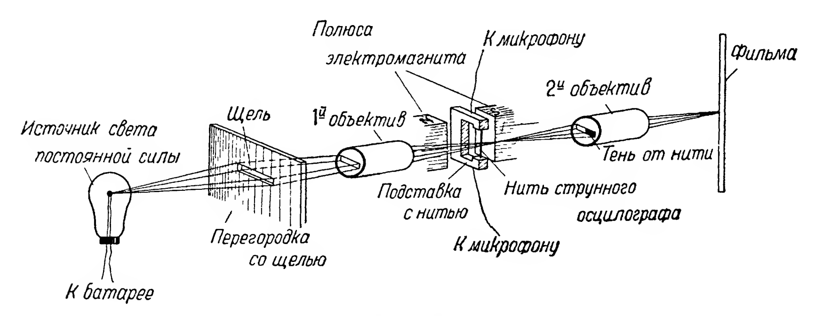


Рис. 38.

Изображение щели, освещенной лампой, проектируется первым объективом на очень тонкую нить, натянутую между полюсами электромагнитов; к этой нити подводится ток от микрофона. Когда тока нет, т. е. нить находится в нормальном положении, она закрывает ровно половину изображения щели. Второй объектив проектирует нить и изображение щели на фотографическую пленку. Понятно, что мы получим на пленке равномерно зачерненную полоску, длина которой равна половине изображения щели. Когда же через нить течет переменный ток, то в зависимости от его силы нить больше или меньше отклоняется в ту или другую сторону и открывает большую или меньшую часть щели. Мы имеем, следовательно, именно „заслонку“, движущуюся перед щелью в такт колебаниям силы микрофонного тока. На фильме получается ряд черточек одинакового почернения, но



Рис. 39.

различной длины. На рис. 39 вы можете видеть кусок фильмы с такого рода записью звука. Зубчики в левой части этого рисунка и представляют собой фонограмму — фотографию звука.

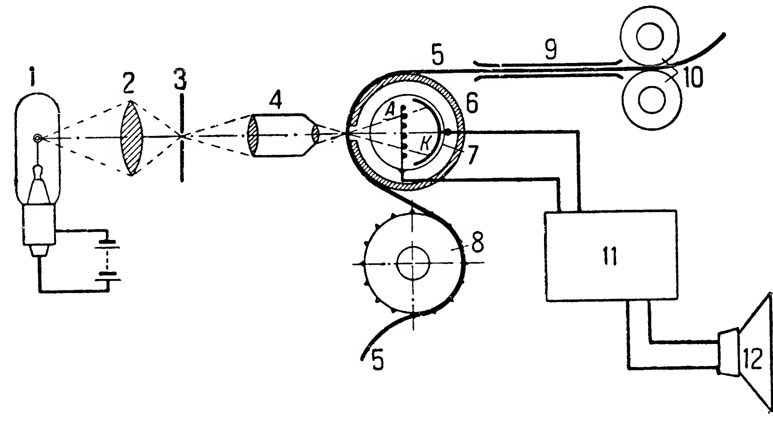


Рис. 40.

При всем различии технических средств и путей, которыми разрешают различные изобретатели задачу записи звука на кинофильме, общим во всех этих методах является то, что колебания силы тока превращаются в колебания количества световой энергии, действующей на пленку. Разница в том, что в одних системах („Три-Эргон", Тагер и др.) это достигается изменением интенсивности (силы) светового пучка, в других (Шорин) — изменением площади, на которую попадает световой пучок постоянной силы.

Во всем этом процессе, как вы могли заметить, фотоэлемент не принимает никакого участия, но зато во второй части процесса, в демонстрации звуковой кинофильмы, он является одним из главных действующих лиц. В чем заключается процесс демонстрации фильмы, вам, вероятно, принципиально уже ясно. Нужно заставить всю эту сложную цепь различных превращений одних колебаний в другие развернуться в обратном порядке. Мы пропускаем постоянный пучок света через сделанную тем или иным способом фонограмму (запись звука) и получаем пучок света переменной яркости. В фотоэлементе, на который

попадает этот пучок, свет переменной яркости преобразуется в электрический ток, сила которого пропорциональна световому потоку, падающему на фотоэлемент. Ток этот усиливается и подается в громкоговоритель или теле-

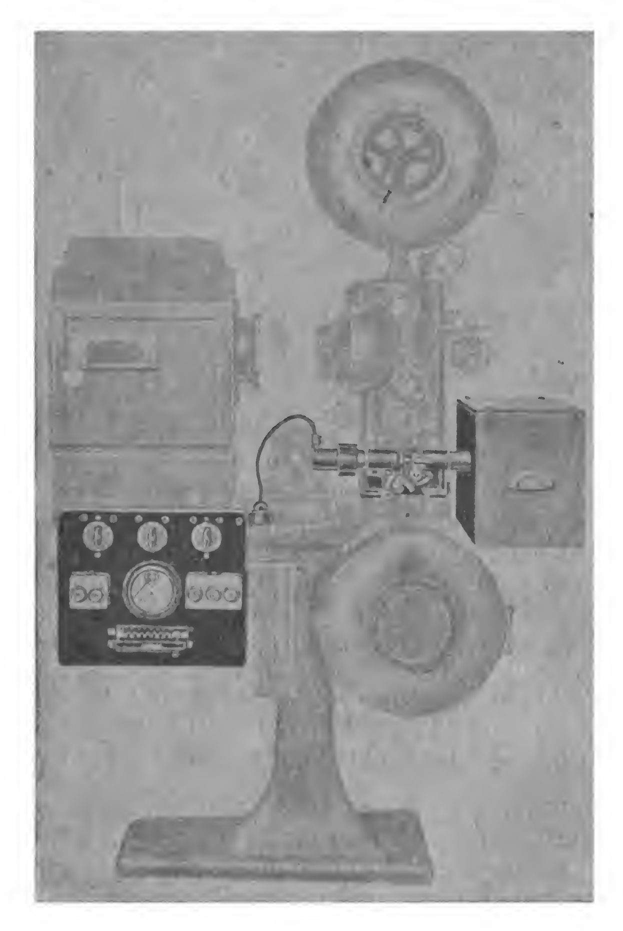


Рис. 41. Звуковой кинопроекционный аппарат немецкой конструкции (система „Клянгфильм").

фон. Он заставляет мембрану громкоговорителя совершать механические колебания, соответствующие колебаниям тока, подведенного от фотоэлемента. Колебания мембраны в свою очередь порождают в воздухе звуковые волны

которые и доходят до вашего уха. Вы слышите слово, произнесенное героем, в тот же момент, как видите его фотографию.

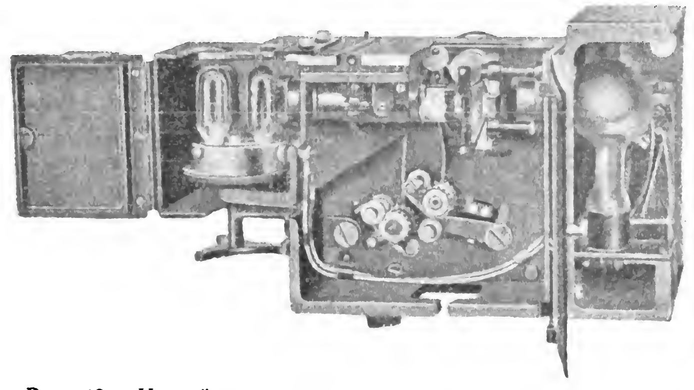


Рис. 42. Устройство звуковоспроизводящей части аппарата американской фирмы „Radio-Corporation".

Рис. 40 дает представление о том, как фактически осуществляется этот процесс. Здесь мы имеем лампу *1*, дающую постоянный очень ровный свет; линза *2* (конденсор) собирает свет лампы и ярко освещает щель *3*, которая объективом *4* проектируется в сильно уменьшенном виде на ту часть фильмы *5*, где записан в виде системы черточек звук. Фильма скользит по барабану *6*, в котором против освещенного места имеется отверстие. Цифрами *8*; *9* и *10* отмечены на рисунке различные приспособления, обеспечивающие плавный ход фильмы. Пройдя через фонограмму, пучок света будет уже в большей или меньшей степени ослаблен. Внутри барабана этот пучок попадает на фотоэлемент *7*, превращающий пучок света переменной яркости в электрический

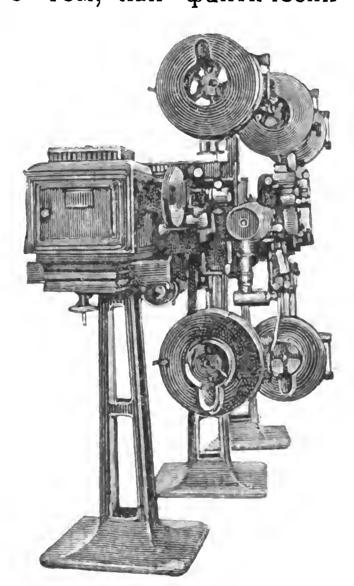


Рис. 43. Советский проекционный аппарат системы Шорина.

ток большей или меньшей силы. Возникающий в цепи фотоэлемента пульсирующий ток усиливается усилителем *11* и подается в катушки громкоговорителя *12*, укрепленного сбоку или за экраном кинотеатра.

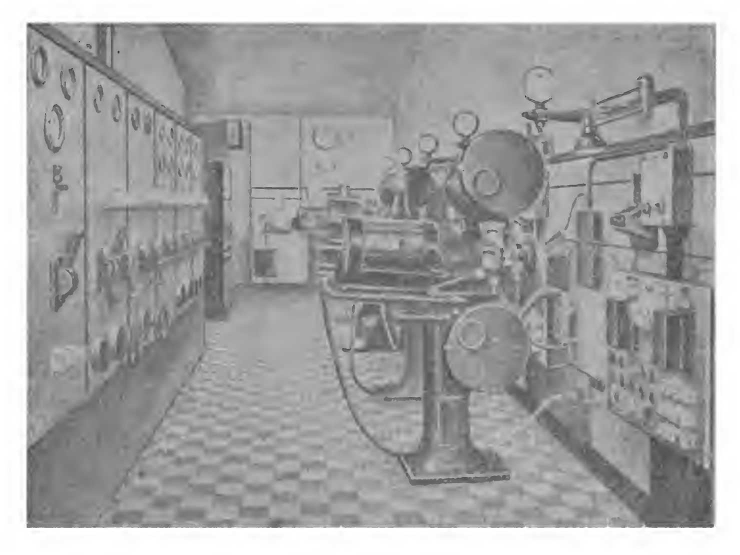


Рис. 44. Общий вид проекционной будки современного большого кинотеатра.

Все это относительно просто, конечно, только в принципе. На практике приходится преодолевать множество серьезных затруднений, над которыми успешно бьется изобретательская мысль. Рис. 41—44 показывают, какой вид имеют современные технические установки звукового кино.

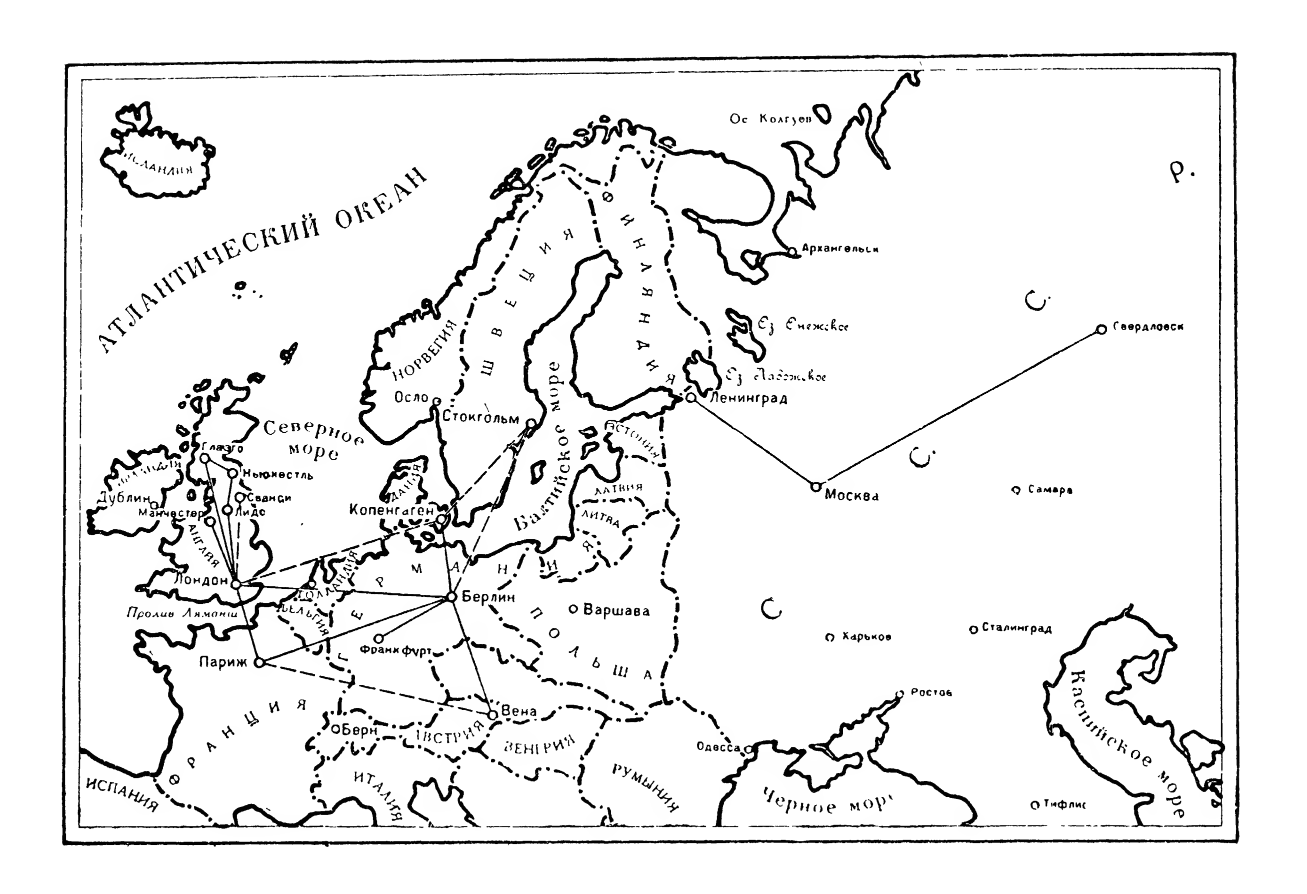
2. Передача изображений на расстояние (бильд-телеграфия).

Несколько лет тому назад москвичи и ленинградцы прочитали объявление о том, что телеграф принимает от всех желающих „фототелеграммы“. Это значит, что вы можете принести на телеграф собственноручно написанный или подписанный вами документ, чертеж, рисунок и т. п., и в течение нескольких минут в другом городе, на расстоянии нескольких сот километров, будет получена абсолютно точная, фотографическая копия с него.

За первой линией Москва—Ленинград последовала линия Москва—Свердловск, и несомненно, что ближайшие годы принесут необычайный расцвет этого нового вида связи. Помимо того, что во многих случаях бывает важно передать не только содержание, но и точную копию оригинала, преимущество этой фототелеграфии перед обычной заключается еще и в необычайном ускорении передачи. В настоящее время можно передавать этим способом до 1 000 слов в минуту. Карта на рис. 45 показывает европейские линии, на которых к маю 1929 г. был открыт прием фототелеграмм. На карте СССР отмечены уже функционирующие линии Москва—Ленинград и Москва—Свердловск. В передаче изображений на расстояние основную роль играет фотоэлемент.

Принцип передачи изображения на расстоянии заключается в том, что на передаваемый оригинал направляется узкий пучок световых лучей, который точка за точкой по порядку проходит по всему оригиналу. Этот луч, пройдя сквозь оригинал, если он прозрачен, или отразившись от него, если мы имеем дело с обычным непрозрачным оригиналом на бумаге, будет, очевидно, иметь различную яркость в зависимости от того, на какое место оригинала попадал луч. Ясно, что луч, отразившийся от белой бумаги, будет сильнее, чем луч, отразившийся от черного штриха рисунка или надписи. Мы получаем таким образом луч переменной, колеблющейся яркости, причем в каждый момент сила света соответствует степени прозрачности или светлоте данного места оригинала. Эти колебания света превращаются в фотоэлементе в пульсирующий ток, строго соответствующий переменному освещению фотоэлемента. После усиления этот ток направляется на принимающую станцию. Здесь с помощью одного из тех способов, с которыми мы познакомились, когда рассматривали звуковое кино, колебания силы тока снова превращаются в колебания яркости луча. Направив этот луч на фотографическую бумагу и заставив его проходить через отдельные точки бумаги в той же последовательности, в какой на отправной станции луч прощупывал оригинал, мы получим на фотографической бумаге точную копию оригинала.

Такова схема. Рассмотрим теперь несколько подробнее, как она осуществляется. В первой модели аппарата для передачи изображений, построенной в 1902 г. амери-


Атлантический океан
Исландия
Ос Колгуев
Архангельск
Ез Онежское
Ез Ладожское
Ленинград
Свердловск
Москва
Самара
Харьков
Сталинград
Ростов
Одесса
Тифлис
Черное море
Каспийское море
Финляндия
Швеция
Норвегия
Осло
Стокгольм
Балтийское море
Эстония
Латвия
Литва
Копенгаген
Дания
Северное море
Глазго
Ньюкестль
Свонси
Лидс
Манчестер
Дублин
Англия
Лондон
Пролив Ламанш
Голландия
Бельгия
Германия
Берлин
Варшава
Польша
Франкфурт
Париж
Франция
Берн
Вена
Австрия
Венгрия
Румыния
Италия
Испания

канцем Корном, с оригинала изготовлялась на целлулоидной пленке прозрачная фотокопия, которая укреплялась на прозрачном стеклянном или целлулоидном барабане *4* (рис. 46). Лучи света от лампы *1* собираются на оригинале в виде очень маленького пятнышка, размером приблизительно 0,2 × 0,2 *мм*. Барабан *4* вращается вокруг своей оси и в то же время перемещается вдоль нее. При этом, понятно, световое пятнышко описывает по поверхности барабана винтовую линию и последовательно прощупывает одну за другой все точки оригинала. Пройдя сквозь оригинал и цилиндр внутрь барабана, луч попадает на фотоэлемент *5*. В зависимости от того, через какую точку оригинала проходил луч, он обладает большей или меньшей интенсивностью и стало быть создает в фотоэлементе ток большей или меньшей силы.

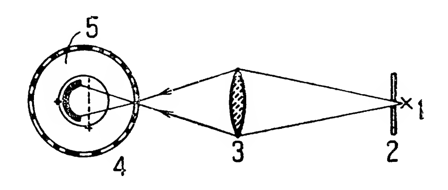


Рис. 46.

Существенным недостатком этой системы является необходимость изготовления прозрачной фотографической копии с оригинала. Это, конечно, значительно удорожает и усложняет процесс. Но основная часть этого прибора — барабан, вращающийся вокруг оси и одновременно скользящий вдоль нее, — вошла и в новые конструкции. Теперь только на этом барабане укрепляют обычный непрозрачный лист бумаги с текстом или рисунком, а на фотоэлемент направляют свет, рассеянный (отраженный) той или иной точкой оригинала. Ясно, что свет, рассеянный белой бумагой, сильнее, чем свет, рассеянный черной точкой оригинала. Нужно только иметь возможность уловить и направить на фотоэлемент все эти рассеянные лучи для того, чтобы сила тока в цепи фотоэлемента соответствовала светлоте данного места.

Для этой цели был предложен ряд остроумных приспособлений. Например, Шретер предложил особое устройство с параболическим зеркалом (рис. 47), собирающим и отбрасывающим на фотоэлемент почти все лучи, рассеянные оригиналом. Взамен этого Шривер предложил устраивать кольцеобразные фотоэлементы; такой элемент изображен на рис. 48. Сквозь среднее отверстие его проходит пучок

света, идущий к барабану, а светочувствительная поверхность элемента улавливает почти все рассеянные лучи, потому что фотоэлемент 2 можно придвинуть почти вплот-

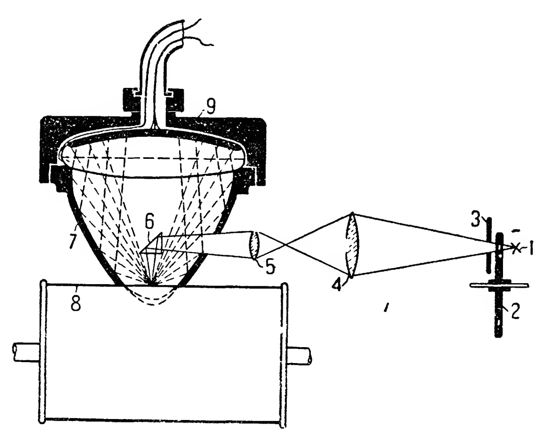


Рис. 47. Схема передачи изображения по системе Шретера: 1—лампа, 3—4—5 система, отбрасывающая светлое пятнышко с помощью призмы 6 на барабан 8, на котором помещен оригинал; 7 — зеркало, отражающее рассеянные лучи на фотоэлемент 9.

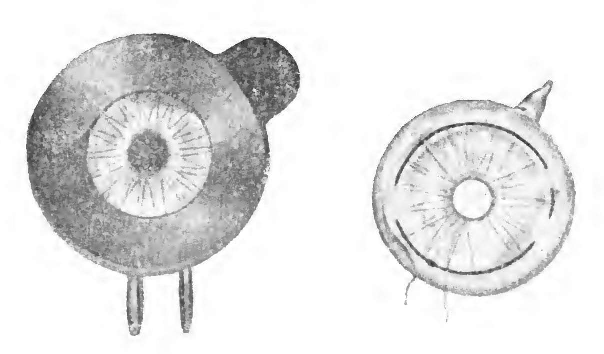


Рис. 48.

ную к барабану 1 (рис. 49). Так или иначе мы превращаем колебания силы света луча, отраженного от различных точек оригинала, в колебания силы тока, передаваемого на принимающую станцию.

Рассмотрим теперь, что происходит на приемной станции. Задача, очевидно, заключается в том, чтобы колеба-

ния силы тока превратить обратно в колебания светового потока, направленного на фотографическую бумагу. Практически наиболее удобным для этой цели оказался метод, основанный на применении керровского конденсатора. Провода, несущие ток переменной силы, полученный с передающей станции и значительно усиленный, подводятся к конденсатору Керра, на который направлен луч света от лампы, горящей очень ровным светом. Когда ток в проводах силен, керровский конденсатор, как мы уже говорили, обладает довольно большой прозрачностью и сквозь него проходит сравнительно сильный пучок световых лучей. Когда тока нет, конденсатор совсем не прозрачен, и свет сквозь него не проходит. Таким образом на конденсатор падает свет постоянной силы, а выходит из него пучок лучей колеблющейся интенсивности,

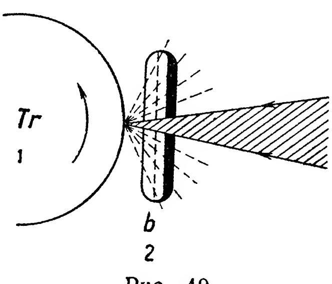


Рис. 49.

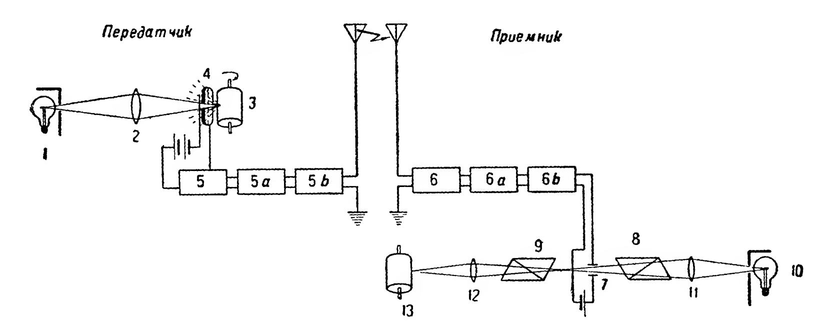


Рис. 50. Схема передачи изображения по проводам (бильд-телеграфии): *1* — лампы, *2* — линза, собирающая свет в маленькое пятнышко, *3* — барабан с оригиналом, *4* — фотоэлемент Шретера, *5—5a—5b* и *6—6a—6b*— усилители, *7—8—9*—конденсатор Керра с оптическими приспособлениями, *10* — лампа, *11—12* — линзы, *13* — барабан, на котором получается изображение.

притом колеблющейся в такт колебаниям силы тока, т. е. в такт колебаниям силы света, отраженного от оригинала на передающей станции. Этот пучок лучей, прошедший сквозь конденсатор Керра, направляют на фотографическую

бумагу, укрепленную на таком же барабане, как и барабан передающей станции. Так как барабан вращается и одновременно скользит вдоль своей оси, то луч света вычерчивает на нем винтовую линию, перекрывающую всю его поверхность, и так как при этом яркость луча все время меняется, то на бумаге будут возникать черные и белые точки в том же порядке, как и на оригинале. Иными

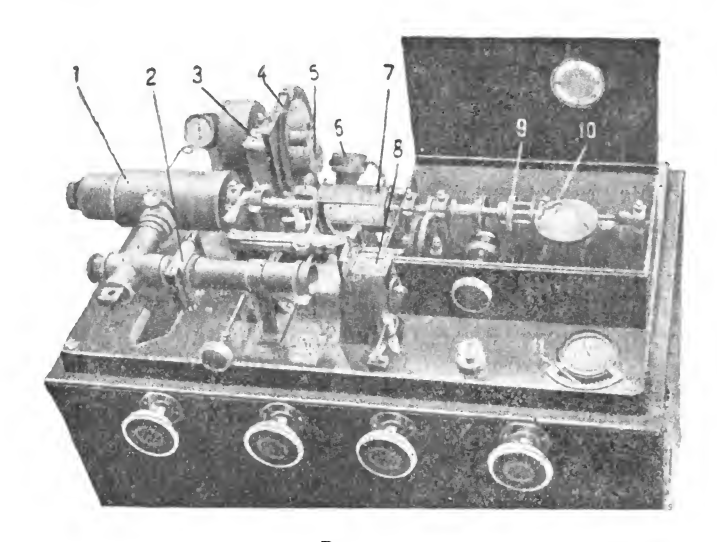


Рис. 51.

словами, этот луч вычертит на фотографической бумаге точную копию оригинала. Вся схема устройства передающей и приемной станций изображена на рис. 50, а рис. 51 представляет собой фотографию с действующей приемно-передающей установки „Телефункен".

Мы должны еще в заключение остановиться на трех принципиальных трудностях, которые пришлось преодолеть конструкторам. Первая заключается в необходимости обеспечить точное совпадение движений барабанов на приемной и передающей станциях. Ведь ясно, что если барабан приемной станции будет вращаться хоть чуть быстрее или медленнее, чем барабан передающей станции, то сигналы будут записываться совсем не в тех местах листка, где они находились в оригинале. Вместо изображения получится ни на что не похожая куча

черных и белых точек. Поэтому оба барабана приводятся в движение моторами, снабженными так называемыми „синхронизирующими“ приспособлениями, обеспечивающими одинаковую скорость движения обоих барабанов.

Другая трудность заключается в следующем. В той схеме фототелеграфии, которую мы описали, изображение представляло бы собой негатив оригинала, т. е. состояло бы не из черных линий на белом фоне, как оригинал, а из белых линий на черном фоне. В самом деле предположим, что в какой-нибудь момент луч света на передающей станции попал на черную точку оригинала. Тогда рассеянных лучей получается мало, и фототок в этот момент очень слаб. Но мы видели, что если ток, подводимый к конденсатору Керра слаб, то конденсатор почти не пропускает света. Значит, в этот момент записывающий луч света на приемной станции будет также очень слаб и не сможет вызвать почернения фотографической бумаги. Таким образом данной черной точке оригинала будет соответствовать белое место копии, и, наоборот, белым местам оригинала будут соответствовать черные точки копии. Чтобы устранить этот недостаток, нужно, очевидно, устроить так, чтобы напряжение на керровском конденсаторе приемной станции было больше в тот момент, когда ток фотоэлемента слаб, и наоборот. С этой целью на пути луча, передающего изображение, помещают другой, „компенсирующий“, фотоэлемент, включенный в цепь так, что он действует противоположно основному фотоэлементу. Когда луч света попадает на белое место оригинала, то ток в обоих элементах получается почти одинаковый, и так как элементы включены навстречу друг другу, то результирующий ток будет очень слаб, что и требуется. Напротив, если луч наткнется на черное место оригинала, то в основном фотоэлементе тока почти не будет, в цепь попадет только сильный ток от компенсирующего фотоэлемента.

Наконец, последняя трудность связана с необходимостью усиливать слабые токи, даваемые фотоэлементом. Это усиление производится, как мы говорили, с помощью обычных в радиотехнике усилителей с катодными лампами. Но такие усилители работают хорошо лишь тогда, когда усиливаемый ток является очень быстро переменным, т. е. когда число его колебаний достигает нескольких сотен

в секунду. Между тем, световой луч скользит по барабану сравнительно медленно и сила фототока сама по себе изменяется также сравнительно медленно. Усиление таких токов представляет чрезвычайные затруднения. Чтобы выйти из положения, поступают так. На пути записывающего луча помещают диск (см. *2* на рис. 47), по окружности которого имеется большое число (от 30 до 180) дырочек, и диск этот быстро вращают. Понятно, что при этом луч будет много раз в секунду прерываться. Попадая на дырочку он будет проходить к барабану и создавать фототок, а натыкаясь на диск, он будет им отгораживаться от барабана и фотоэлемента. Представим себе сначала, что на барабане имеется чистый лист бумаги. Если бы диска не было, то в фотоэлементе мы получили бы ток постоянной силы. Если диск приведен во вращение, то ток этот превращается в прерывистый, причем частота этих изменений зависит от скорости вращения диска и числа дырочек на нем. Амплитуда же (размах) колебаний силы тока оставалась бы все время постоянной. График на рис. 52,*a* изображает наглядно эти колебания несущей частоты. Если теперь на барабане имеется рисунок, то сама амплитуда этих колебаний будет изменятся в зависимости от того, на какое место оригинала попадает луч. Мы получаем картину, которая наглядно изображена на рис. 52,*c*.

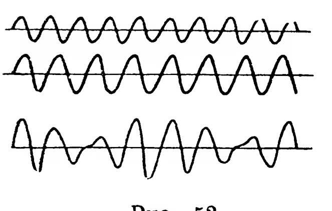


Рис. 52.

В приемном аппарате мы получили бы в первом случае (при отсутствии изображения) ток некоторой постоянной средней силы, а во втором — ток, сила которого изменяется соответственно изменениям амплитуды, т. е. в конечном счете соответственно колебаниям силы света, отраженного от данной точки оригинала. С этим приемом так называемой „модуляции“ мы еще встретимся ниже.

3. Телевидение.

Описанные выше способы приема и передачи изображений на расстояние годны только для неподвижных изображений. Наиболее интересным является передача на расстояние движущихся изображений наподобие кино.

В этом случае изображение не принимается на фотографическую бумагу или пластинку, а рассматривается непосредственно глазом на экране.

Передачу колебаний тока с одной станции на другую осуществляют при этом не по проводам, а с помощью радиоволн. Этот вид радиосвязи — так называемое телевидение — является наиболее молодым, но ему несомненно предстоит огромное будущее. Недалеко то время, когда каждый радиолюбитель у себя дома или в клубе будет не только слышать передачу музыки или речи, но и видеть спектакль или оратора на трибуне.

Уже сейчас некоторые радиолюбители на самодельной аппаратуре умудряются принимать отрезки кинофильм, передаваемые заграничными и московскими станциями. По своему принципу телевидение очень близко к передаче изображения по проводам, которое мы только что рассматривали.

Как и в фототелеграфии, основная мысль здесь заключается в том, что последовательность светлых и темных точек оригинала, лежащих рядом друг с другом, превращают в чередование сильных и слабых токов, следующих друг после друга. На приемной станции эти сильные и слабые токи превращаются опять в чередование светлых и темных точек, возникающих одна после другой в соответствующих точках экрана. Но если эти точки возникают одна после другой достаточно быстро, то для глаза они сливаются в одно цельное изображение.

Таким образом первая возникающая здесь задача заключается в том, чтобы разложить передаваемое изображение на возможно большее число отдельных точек. Практически в настоящее время можно вести передачу с изображением, разложенным на 1 000—6 000 точек. При этом нужно иметь в виду, что для передачи изображений движущихся предметов луч, „прощупывающий“ оригинал и разлагающий его на отдельные точки, должен обежать весь предмет не больше, чем в $^1/_{12}$ секунды. Таким образом в секунду должно передаваться примерно 60—70 тысяч отдельных световых точек. Как же это осуществляется?

Одним из наиболее распространенных среди любителей приборов для разложения передаваемого оригинала на отдельные световые точки является так называемый

диск Нипкова (рис. 53). Это — просто металлический диск, на котором пробит по спирали ряд маленьких квадратных дырочек (со стороной около 1 *мм*). У нас в СССР принят стандартный диск с 30 дырочками. Центры их лежат на радиусах, образующих между собой угол в 12°, и каждая дырочка смещена по отношению к своей соседке на величину, равную ее стороне. Таким образом, если бы все эти отверстия были расположены на одном радиусе, то они соприкасались бы друг с другом и образовали бы одну щель. Рис. 53*а* поясняет, как осуществляется разложение изображения на отдельные точки с помощью диска Нипкова. Лицо человека, изображение которого передается, освещено сильными лампами. Его изображение отбрасывается объективом на диск Нипкова. Понятно, что все лучи будут этим

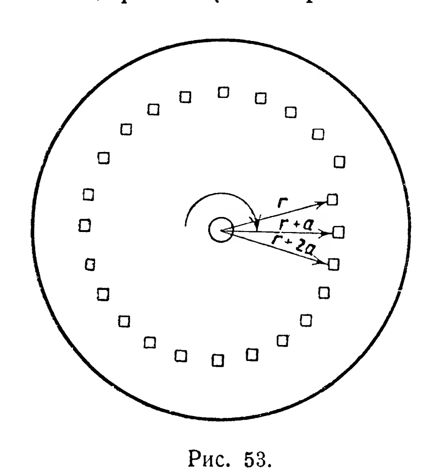


Рис. 53.

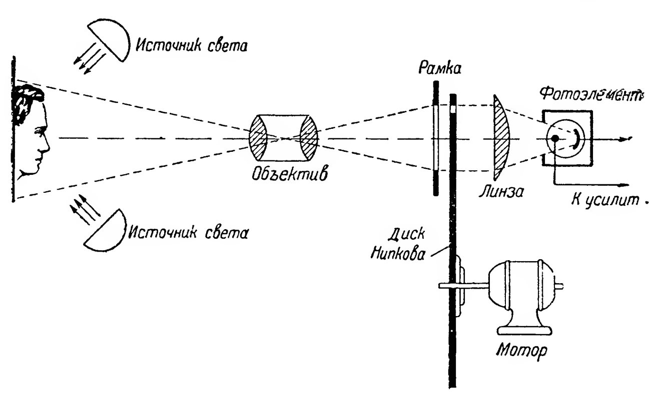


Рис. 53а.

диском задержаны, кроме узкого пучка, соответствующего той точке изображения, которая как раз попадает на дырочку. Только этот узкий пучок лучей может, следо-

вательно, попасть на фотоэлемент. Когда диск вращается, то поочередно проходят через отверстие различные точки изображения, лежащие на одной дуге. Когда первая дырочка пройдет через все изображение и дойдет до края его, вторая дырочка вступит на противоположный край и начнет прощупывать точки второй „строки“ и т. д. В каждый момент, следовательно, в фотоэлемент будет попадать свет только от одной точки оригинала и, следовательно, возникающий в фотоэлементе ток будет пропорционален яркости данной точки оригинала. Светлым местам оригинала будет соответствовать ток более сильный, черным — более слабый.

Возможно и другое расположение приборов, которое чаще применяется на практике. Оно показано на рис. 54. Лучи света от сильной лампы собираются системой линз (конденсором) на диске Нипкова, и часть их в виде тонкого пучка проходит через отверстие в нем. Эти лучи собираются в светящуюся точку на предмете, изображение которого подлежит передаче. Понятно, что при вращении диска эта светящаяся точка быстро перемещается по предмету. Здесь, таким образом, действительно световой луч „прощупывает“ точка за точкой весь изображаемый предмет. Лучи света, рассеянные освещенной точкой предмета попадают на фотоэлементы, расположенные вокруг.

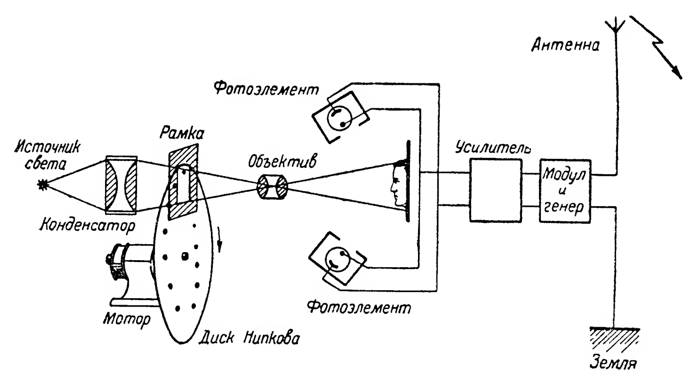


Рис. 54.

Ясно, что в фотоэлементах будет возникать более сильный или более слабый ток в зависимости от того, на светлое или темное место предмета попадал прощупывающий пучок лучей.

На рис. 55 вы можете видеть оборудованную по этому принципу кабину для передачи изображений. Через отверстие в стенке проходит пучок лучей, прощупывающий лицо человека, сидящего в кресле. Трубки, которые видны слева и справа, — это фотоэлементы, улавливающие рассеянный свет. Для того чтобы человек, изображение которого передается, не должен был сидеть в темноте и чтобы его не слепил прощупывающий пучок лучей, берут фотоэлементы, реагирующие только на синие лучи и пропускают передающий пучок лучей через соответствующее синее стекло. Кабина может быть освещена при этом сильным оранжево-красным светом, который не действует на фотоэлементы.



Рис. 55.

Когда разрешена таким образом первая задача, т. е. когда изображение разложено на ряд световых точек и от каждой точки получен в фотоэлементе ток соответствующей силы, тогда возникает вторая задача: нужно эти токи переслать на приемную станцию, часто за много сотен километров. Эту задачу разрешают с помощью радиоволн.

Здесь мы не можем излагать подробно вопрос о том, что представляют собой электромагнитные волны. Нам существенно только знать, что когда через антенну отправной станции мы пропускаем электрический ток высокой частоты, т. е. ток, много тысяч раз в секунду меняющий свое направление, то в окружающем пространстве распространяются электромагнитные волны, частота колебаний которых строго соответствует частоте переменного тока в антенне. Когда такая волна падает на антенну приемной станции, она возбуждает в ней переменный ток

такой же частоты. Ток этот в радиоприемнике выпрямляется, т. е. превращается в прямой ток — одного постоянного направления, но изменяющийся по силе. Этот ток и производит то или иное действие, например заставляет колебаться мембрану телефона или громкоговорителя и т. п. Если принятые сигналы слабы, то их до выпрямления предварительно усиливают, после чего подводят к детектору для выпрямления и последующего усиления. Таким образом радиоволны служат средством для передачи сигналов отправительной станции в окружающее пространство.

Скорость распространения радиоволн очень велика: она равна скорости света и составляет 300 000 *км* в секунду, а длины этих волн, употребляемых для беспроволочной связи, обычно порядка нескольких сот метров. В соответствии с этим частота электромагнитных волн очень велика. Если, например, волна имеет длину в 1 000 *м*, то частота ее равна 300 000 колебаний в секунду. Чем короче применяемые волны, тем выше, естественно, их частота.

Если бы амплитуда колебаний тока в передающей антенне оставалась все время одной и той же, то и в приемной антенне мы получили бы ток с постоянной амплитудой колебаний. После выпрямления такого тока мы получили бы ток постоянный и по величине и по направлению. Иное дело, если мы будем периодически изменять амплитуду тока в передающей антенне. При этом будет меняться соответствующим образом и амплитуда электромагнитной волны и, следовательно, и амплитуда переменного тока в приемной антенне. После выпрямления этого тока мы получим, следовательно, ток, постоянный по направлению, но переменной силы. Колебания силы этого тока будут соответствовать колебаниям амплитуды волны. Наглядно это соотношение между частотой колебаний самой волны (так называемой **несущей частотой**) и частотой изменений ее амплитуды (так называемой **модулирующей частотой**) показано на рис. 52.

На этом процессе периодического изменения амплитуды электромагнитной волны основано радиовещание, т. е. передача на расстояние звуков при помощи радиоволн. Мы знаем, уже, что когда на мембрану микрофона падают звуковые волны, то в цепи микрофона возникают токи,

частота колебаний которых соответствует частоте звуковых колебаний. Эти токи после усиления подводят к антенне передающей станции и заставляют изменяться амплитуду электромагнитной волны в темпе колебаний микрофонного тока. После выпрямления переменного тока несущей частоты, возникшего в приемной антенне, как мы видели, получится ток, сила которого изменяется с звуковой частотой, т. е. с той, с которой менялся микрофонный ток. Этот ток и заставляет мембрану телефонных трубок или громкоговорителя совершать те же колебания, какие совершала мембрана микрофона, и мы слышим звук, произнесенный за много сот или тысяч километров.

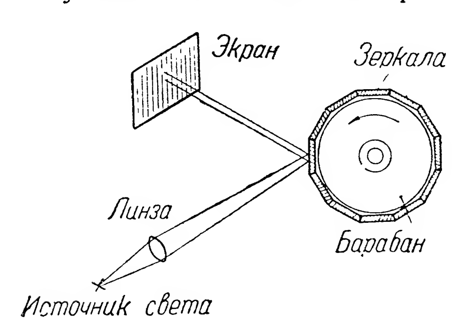


Рис. 56.

Передача с помощью радиоволн изображений по сути дела не отличается от радиовещания. Мы уже видели, что передаваемое изображение разлагается на ряд светлых и темных точек, и эта совокупность превращается в последовательность более и менее сильных токов в цепи фотоэлемента. Этими-то токами фотоэлемента и модулируют несущую частоту передающей изображение радиоволны. Стало быть отличие передачи по радио зрительного образа от передачи звука заключается лишь в том, что в первом случае мы модулируем несущую волну токами микрофона звуковой частоты, а во втором для модуляции служат токи, идущие от фотоэлемента. Частота модуляции в этом случае значительно выше звуковой. Мы видели, что звуковые частоты практически заключены между 50—10 000 колебаниями. Между тем, изображение разлагается на 5—6 тысяч точек, каждая из которых дает ток определенной силы. Вся масса точек пробегается световым лучом не больше чем в $^{1}/_{12}$ секунды. Значит, в секунду фотоэлемент будет передавать токи от 60 000 световых точек, что означает, что частота модуляции может достигать 60 000 колебаний в секунду. При успешно осуществленных опытах передачи изображений, разложенных на

8000 точек, частота модуляции была еще выше, она достигала 100 000 в секунду. Эта высокая частота модуляции создает ряд технических затруднений в передаче изображений по радио, но затруднения эти, как мы уже ука-

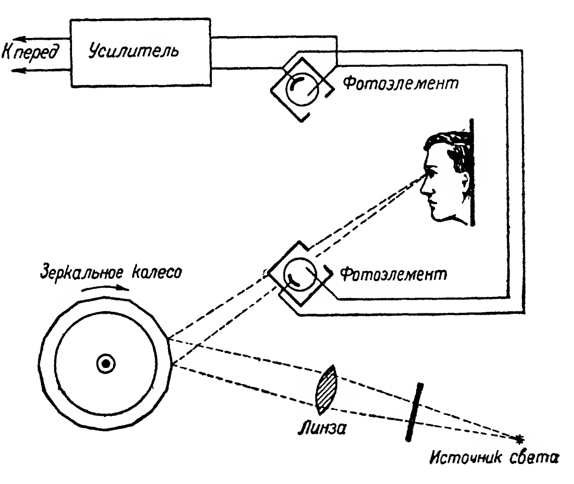


Рис. 57.

зывали, успешно преодолеваются. В частности, в этом одна из причин того, что передачу по радио изображений стремятся вести на возможно более коротких волнах, так как при высокой частоте модуляции удобнее иметь и несущую частоту по возможности больше.

На приемной станции после усиления и выпрямления антенного тока мы получаем ток, сила которого колеблется в соответствии с амплитудой волны, т. е. в конечном счете соответствует силе тока, даваемого в данный момент фотоэлементом.

Такой ток переменной силы мы умеем превращать в колебания яркости светового луча. Различные способы, применяющиеся для этого, были уже описаны выше. Очень удобно, например, осуществляется это превращение с помощью конденсатора Керра. Если такой пучок лучей переменной силы заставить падать на диск Нипкова, вращающийся с той же скоростью, что и диск Нипкова на отправной станции, то светящаяся точка будет перемещаться по экрану, переходя через отдельные его точки в той же последовательности, в какой „прощу-

пывающий" луч света на передающей станции проходил через точки оригинала. При этом одни точки будут освещены ярче, другие слабее, и так как луч обегает весь экран в очень короткий промежуток времени, то эти точки сливаются в одно цельное изображение.

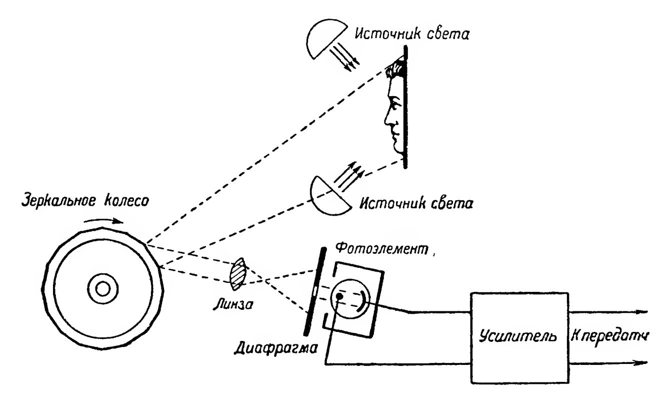


Рис. 58а.

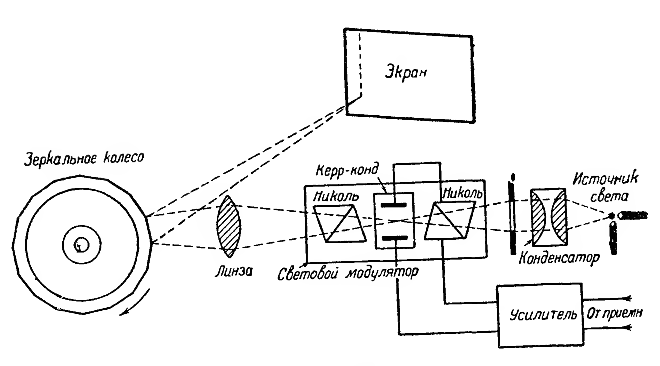


Рис. 58б.

Диск Нипкова не является единственным возможным прибором для разложения изображения на отдельные точки и обратного их сложения. Часто вместо него принимают зеркальный барабан Вейлера, действие которого ясно без всяких объяснений из рис. 56. На рис. 57, 58*а* и 58*б*, вы можете видеть схему передачи и приема изображений

с помощью колеса Вейлера, а на рис. 59 дана фотография приемника телевидения системы „Телефункен“ с колесом Вейлера.

В самое последнее время американским конструктором Зворыкиным предложен совершенно новый способ разложения изображения на отдельные точки и обратного сложения их. В приборе Зворыкина иконоскопе разложение осуществляется без помощи каких бы то ни было движущихся механических частей. Конструкция эта однако довольно сложная, и здесь мы не в состоянии дать ее описание.

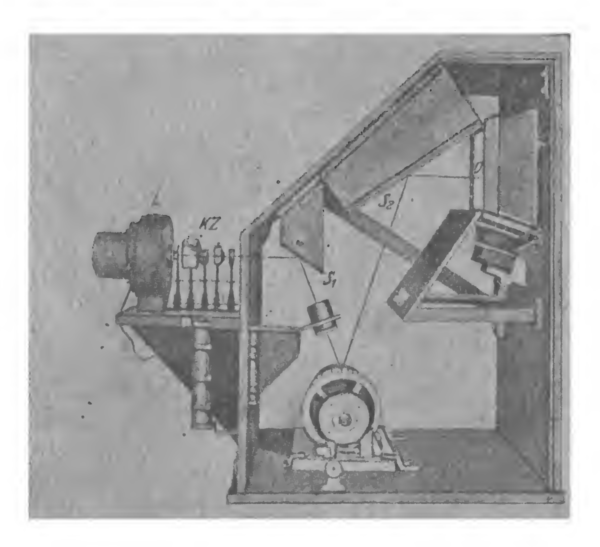


Рис. 59.

4. Световые реле.

Заканчивая наш краткий обзор технических применений фотоэлемента, мы остановимся еще на ряде приборов для автоматической сигнализации и автоматического регулирования различных приборов. В основе всех этих приспособлений лежит применение так называемых фотореле. По сути дела фотореле представляет собой фотоэлемент, в котором возникает ток при действии на него света. Этот ток усиливается и автоматически включает то или иное регулирующее или сигнальное приспособление.

Если в тех применениях фотоэлемента, о которых была речь выше, главным требованием, которое мы предъявляли к фотоэлементу и усилительной аппаратуре, была строжайшая пропорциональность между силой падающего света и силой тока, то здесь от этого требования можно отказаться. Нам не важно, чтобы сила фототока изменялась строго пропорционально силе света, а нужно лишь, чтобы она достигала определенной величины, когда освещение станет достаточно сильным.

Понятно, что прибор может включаться либо тогда, когда ток достигает определенной силы, либо тогда, когда ток падает ниже определенного предела. Все зависит от выбора схемы включения фотоэлемента. Отсутствие необходимости в строгой пропорциональности силы тока и силы света позволяет применять для изготовления фотореле как обычные щелочные и купроксидные фотоэлементы, так и селеновые с внутренним фотоэлектрическим эффектом. Вместе с тем значительно упрощается и усиление фототоков. Существуют сравнительно простые приборы (тиратроны), основанные на явлениях разряда в газах, позволяющие чрезвычайно усиливать первоначальные слабые фототоки.

Приложения фотореле в технике необычайно разнообразны. Здесь открывается поистине неисчерпаемое поле деятельности для наших изобретателей. Чтобы указать, в каких направлениях можно искать применений фотоэлементам, рассмотрим несколько примеров.

В хозяйстве современного крупного города очень важную роль играет своевременное включение и выключение наружного уличного освещения. Установлено, что освещение нужно включать, когда сила дневного освещения падает ниже 8 люксов, а утром освещение можно выключить, когда сила света достигнет 0,5 люкса. Эта большая разница между той освещенностью вечером, когда искусственное освещение становится необходимым, и той силой света, при которой утром уже можно без него обойтись, объясняется различной чувствительностью глаза, утомленного к вечеру и отдохнувшего к утру. Обычно заранее вычисляют для каждого города силу дневного света, соответствующего каждому часу дня и дню года, и составляют особое расписание для включения и выключения наружного освещения. Но при этом, конечно, нельзя учесть колебаний погоды. Приходится брать некоторые средние

цифры. Поэтому может оказаться, например, что в пасмурный, туманный день свет будет зажжен слишком поздно или выключен слишком рано. Каждая минута напрасного горения тысяч уличных фонарей означает бесцельную растрату огромного количества электрической энергии, а слишком позднее включение света затруднит уличное движение и может привести к катастрофам.

Поэтому разработан и кое-где уже функционирует ряд приборов, автоматически регулирующих включение и выключение уличных фонарей. Эти приборы по сути дела представляют собой фотореле, соединенные с приборами, включающими уличное освещение. Они рассчитаны так, что в момент, когда сила уличного света падает ниже 8 люксов, ток становится настолько слабым, что прибор включает фонари. Утром, когда сила света достигает 0,5 люкса, сила тока снова возрастает, и фонари выключаются. Такого рода установка имеется, например, в Панамском канале, где с ее помощью автоматически зажигаются и гасятся сигнальные огни на буях. Широкое применение могут найти такие приборы и в различных фабричнозаводских предприятиях. Вместо теперешнего зажигания ламп „на-глазок“ гораздо рациональнее иметь прибор, включающий свет тогда, когда сила дневного света падает до того предела, который является по характеру данного производства минимальным.

Аналогичные приборы применяются на Западе и в рекламных целях. Витрина магазина темна и безжизненна, но в тот момент, когда к ней подходит прохожий, вдруг ярко вспыхивают все лампы, загораются надписи, приходят в действие механизмы. Достигается это очень просто. В витрине установлена лампочка *1* (рис. 60, см. на стр. 80), отбрасывающая пучок света на зеркало *2*, укрепленное на столбе против магазина. Отразившись от этого зеркала, пучок лучей попадает на фотоэлемент и создает в нем ток, выключающий лампы и приборы. Как только прохожий своим телом загородит этот пучок и прекратит доступ света в фотоэлемент, фототок прекращается, и лампы включаются.

Конечно, такое применение фотоэлемента специфично для буржуазной торговли, и вряд ли может найти применение у нас, но на том же принципе можно построить и ряд приборов посерьезнее, например всевозможные автоматические счетчики. Представьте себе пучок лучей,

идущий от какой-нибудь лампы к фотоэлементу. Каждый раз как какое-нибудь непрозрачное тело будет пересекать этот пучок, сила фототока будет резко падать, и нетрудно сконструировать приспособление, которое при этом автоматически поворачивало бы колесо счетчика на одно деление. Такого рода приборы уже применяются в Америке для счета людей, проходящих в туннель или в зал. для счета отштампованных деталей и т. п.

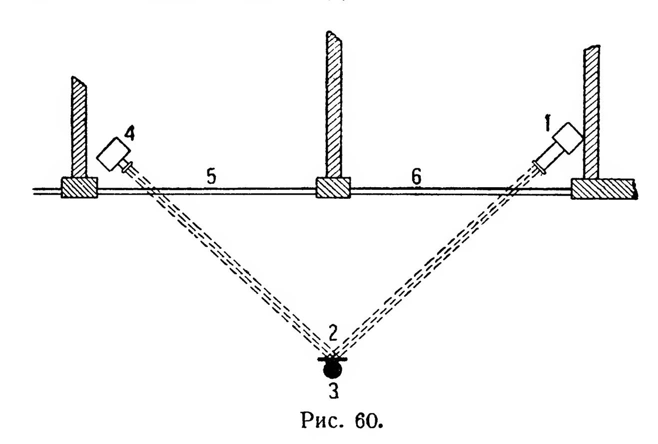


Рис. 60.

Возможно применение аналогичных приборов при конструировании всевозможных защитных приспособлений к машинам. Как только тело рабочего попадает в опасную зону, оно загораживает пучок света, падающий на фотоэлемент, и машина останавливается.

Очень интересна в этом смысле автоматическая предохранительная конструкция „Алыра“, выпускаемая в массовом порядке Всесоюзным трестом „Техника безопасности“ и предназначенная для обслуживания быстроходных прессов. На рис. 61 (см. на стр. 82) вы видите такой пресс; справо установлен осветитель, луч которого попадает на фотоэлемент; ток фотоэлемента, после усиления, выключает тормоз пресса.

При затемнении луча попавшим в опасную зону предметом, например рукой рабочего, приходит в действие реле и включает тормозящее приспособление, так что пуск прессов в ход становится невозможным.

Таким путем предотвращаются многочисленные несчастные случаи от нечаянного и преждевременного

нажима на пусковую педаль, а также так называемого „повторного удара“ пресса. Это приспособление в действии можно видеть на выставке „Наши достижения“, открытой в Москве к XVII партийному съезду.

Можно, конечно, изменить эту установку в том смысле, чтобы заставить действовать на фотоэлемент свет, отраженный тем или иным предметом, движущимся по определенному пути. Такого рода прибор можно применить уже не только для счета, но и для сортировки предметов. Модель такой сортировочной машины изображена на рис. 62 (см. на стр. 83). По небольшому конвейеру, который ясно виден в левой части рисунка, движутся сортируемые предметы, скажем, белые и черные шарики. В определенном месте своего пути они „прощупываются“ световым пучком, и отраженный свет улавливается фотоэлементами. Когда через луч проходит белый шарик, отраженный свет силен, и сильный фототок включает прибор, направляющий шарик в правый ящик; когда проходит темный предмет, отраженный свет и вместе с ним фототок слабеют, и предмет направляется в левый ящик. Такие приборы применяются, например, для сортировки сигар по цвету и т. п.

Интересно также отметить возможное применение фотоэлементов для управления движением поездов. Представьте себе, что где-нибудь над путями установлен фонарь с прожектором, бросающим сильный пучок света на проходящий мимо паровоз. Свет этот попадает на имеющееся на паровозе фотореле. Если фонарь зажжен, то в фотореле возникает сильный ток, который автоматически включает приборы, тормозящие поезд. Мимо такого „закрытого семафора“ поезд не может пройти независимо от степени внимательности и добросовестности ведущего его машиниста. Для того чтобы на фотоэлемент не действовал обычный солнечный свет, делаются попытки устраивать фонари, бросающие только сильный пучок невидимых ультрафиолетовых лучей, которых в солнечном свете почти нет. Фотоэлементы в этом случае, понятно, берутся такие, которые чувствительны только к ультрафиолетовым лучам. Разрабатываются и другие конструкции, в которых на паровозе имеется только определенным образом установленное зеркало, а фонарь и фотореле устанавливаются на столбе у пути. При падении на фотоэлемент лучей, отраженных от зеркала на паровозе, возникающий в фотореле ток приводит в действие

сигнал или автоматически переводит стрелку, направляющую поезд на нужный путь, и т. п. Таких приборов в эксплоатации пока еще нет ни у нас ни за границей, но конструкции их усиленно разрабатываются. В связи с огромным планом работ по реконструкции нашего транспорта следовало бы советским изобретателям поработать и в этом направлении.

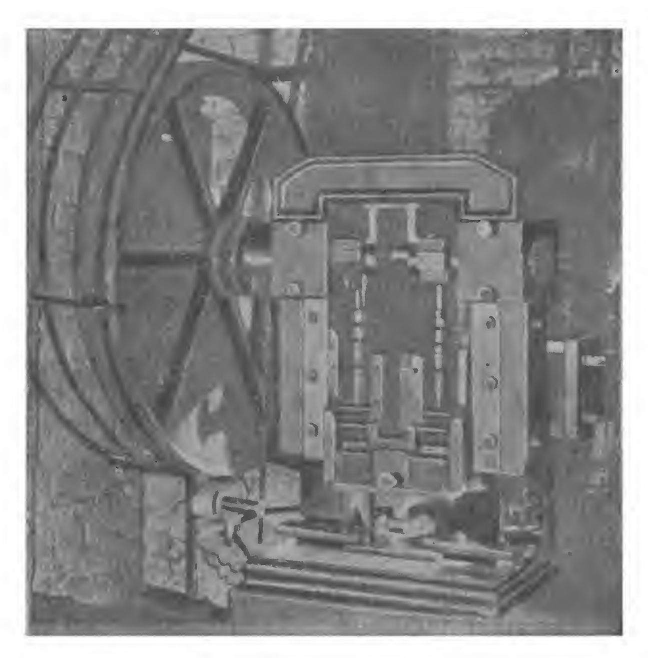


Рис. 61.

В области транспорта в Америке уже функционирует следующее сигнальное приспособление для регулирования движения на пересечении улицы с большим движением и переулка, где движение гораздо меньше. Содержать здесь специального инспектора для управления светофором невыгодно. Поэтому светофор устраивают так, что в нормальном положении он всегда дает зеленый свет в направлении улицы и красный в направлении переулка. И лишь в тот момент, когда из переулка выезжает на улицу машина или подвода, фотореле автоматически переключает сигнальные очки.

Близки к этой задаче и попытки осуществить автоматическое управление машинами, например, прокатными станами. Раскаленный светящийся металл, дойдя до определенного места своего пути начинает посылать свет на фотоэлемент и этим автоматически включает прибор, изменяющий направление движения стана и т. п.

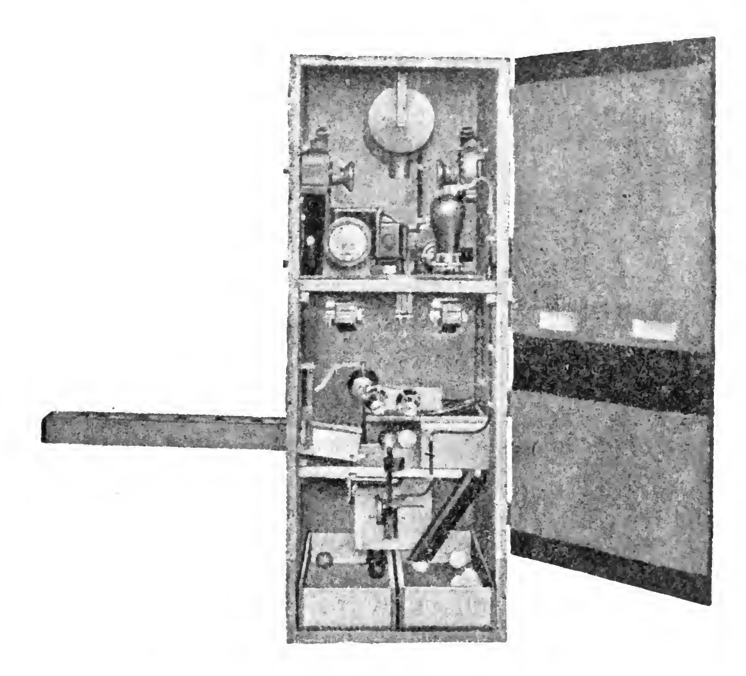


Рис. 62.

Мы выбрали лишь несколько наиболее ярких примеров из бесчисленного множества возможных применений фотоэлемента. Нужно, чтобы каждый изобретатель поглубже познакомился с этим могущественным орудием, который современная физика дала технике, и поискал в знакомой ему области подходящего его применения.

В заключение мы остановимся еще только на одном приложении, которое интересно не только само по себе, но и как пример теснейшего переплетения „чисто научных“ и „технических“ проблем и методов. Тот факт, что

при известных условиях можно добиться строжайшей пропорциональности между силой света и силой соответствующего фототока, издавна уже побудил физиков применить фотоэлементы для нужд фотометрии, т. е. задачи измерения силы света. Особенно удобным оказался этот метод там, где сила измеряемого света настолько мала, что глазом или иным методом ее измерить трудно или невозможно. Такого рода приборы применяются, например, в астрономии для измерения силы света звезд. Принцип их заключается в том, что свет той или иной звезды направляется на фотоэлемент, и по силе фототока (усиленного, если нужно, во много раз) можно судить

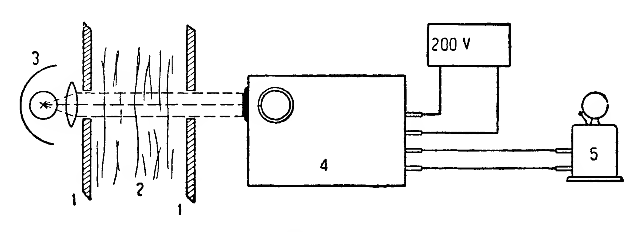


Рис. 63.

о силе света звезды. Такими приборами можно довольно точно измерить силу света даже таких слабых звезд, которые глазом просто не видны. В установке Остербергской обсерватории, например, свет Юпитера давал точке усиление тока до 0,0001 ампера, который легко измеряется сравнительно простыми приборами. Аналогичные фотометры применяются и в ряде других, чисто физических исследований.

Затем настала очередь химиков. Фотоэлектрические фотометры стали применяться для измерения помутнения или окрашивания газов или жидкостей в результате тех или иных процессов. Идея таких измерений ясна из рис. 63. Пучок света от лампы *3* пересекает столб жидкости или газа, текущий по трубе, и попадает на фотоэлемент *4*. Чем больше, например, дыма в воздухе или вообще чем непрозрачнее среда, тем слабее будет фототок. Когда количество дыма достигнет определенного предела, ток ослабнет настолько, что будет включен сигнальный колокольчик *5* или автоматически прекратится дальнейший доступ дыма, и т. п. Измерение силы фототока может прямо

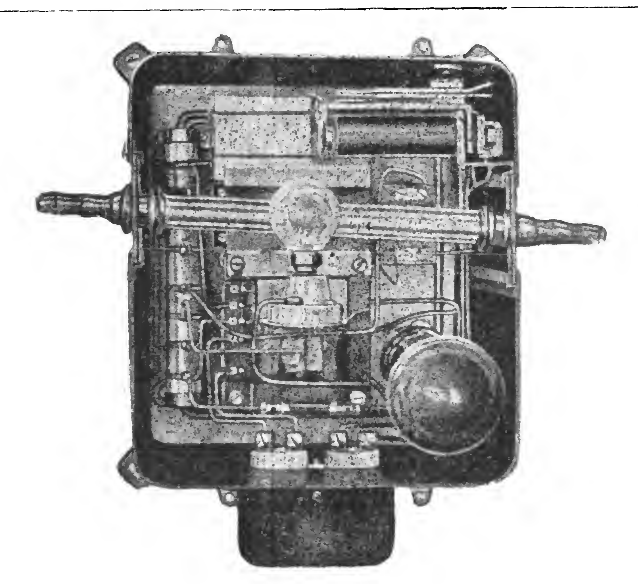


Рис. 64.

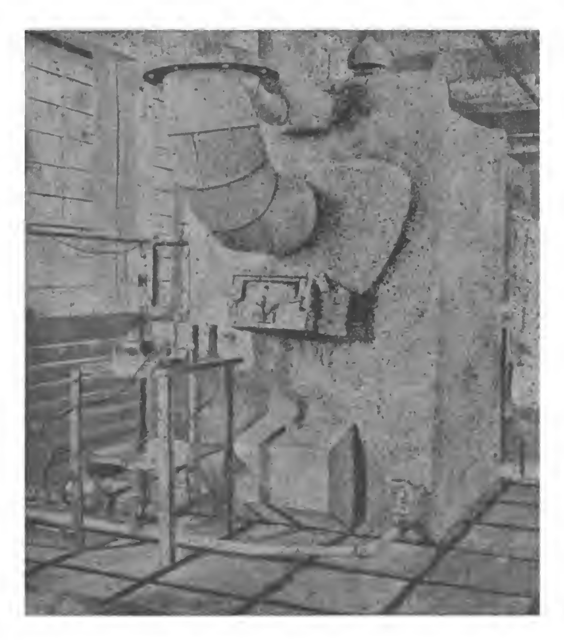


Рис. 65.

служить для измерения степени мутности среды. Так и приборы (нефелометры) конструируются и с самозаписывающими приспособлениями, постоянно регистрирующими, скажем, содержание дыма или иной мути в течение определенного процесса.

На рис. 64 вы видите фотографию этого „чисто научного" прибора, а на рис. 65 его применение к решению „чисто технической" задачи: регулированию сжигания нефти в топке. Луч света от лампы пересекает большую трубу, идущую от топки, и попадает на фотоэлемент, который ясно виден на столике перед трубой. В зависимости от содержания дыма в воздухе, будет меняться сила тока в приборе, и автоматически будет регулироваться подача нефти в топку. Весь прибор рассчитан так, чтобы обеспечить наиболее выгодные условия сгорания нефти. Такого типа приборы, несомненно, сыграют огромную роль в социалистической рационализации нашего хозяйства, потому что каждому ясно, какую огромную экономию может дать максимальное использование запаса тепловой энергии в горючем при правильном его сжигании.

Так сплетаются в одну цепь развития задачи измерения силы света слабейших звезд и проблемы рационального использования топлива, лишний раз показывая, как нелепо противопоставление друг другу „чистой" и „прикладной" науки, как вреден отрыв друг от друга этих двух сторон единого процесса — борьбы человечества за овладение тайнами природы и покорение ее сил.

Редакция *Л. В. Радушкевича*. Оформление *Н. Я. Костиной*.
Корректура *А. Кирнарской*. Наблюдал за выпуском *Л. М. Волкович*

Сдано в набор 11 апреля 1934 г.
Подписано к печати 10 августа 1934 г.
Формат 82 × 110.
Количество бум. лист. 2³/₄
Авторских листов 5,9.
Количество печ. знаков в 1 бум. листе 165120.
Уполномоченный Главлита Б-34447.

Заказ № 517.
Тираж 5000 экз.
ГТТИ № 297.

Цена 90 к.

Т—45—64

